

# 第十五篇

## 浅埋及软土隧道施工新技术 与成功实例分析

# 第一章 明挖法

## 第一节 概 述

浅埋隧道是一种特定条件下的隧道工程,其施工不仅受覆盖层地质因素的制约,而且还受地面环境的影响。

浅埋隧道有整座隧道浅埋和隧道部分地段浅埋两种情况。常用的施工方法有明挖法、地下连续墙法、盖挖法、浅埋暗挖法及盾构法等。

明挖法是指挖开地面,由上向下开挖土石方至设计标高后,自基底由下向上顺作施工,完成隧道主体结构,最后回填基坑或恢复地面的施工方法。盖挖法是由地面向下开挖至一定深度后,将顶部封闭,其余的下部的工程在封闭的顶盖下进行施工,主体结构可以顺作,也可逆作。浅埋暗挖法则是在特定条件下,不挖开地面,全部在地下进行开挖和修筑衬砌结构的隧道施工方法。隧道工程采用盾构法在软弱地质条件下进行暗挖法施工已很普遍,当然也可适用于浅埋隧道的施工。本章重点介绍明挖法、盖挖法与浅埋暗挖法施工的要点。盾构法将在第十六篇专门介绍。

明挖法施工的隧道(有时称为明河),其主体结构施工与地面上工程相似,故不再叙述。本章仅对常见的基坑开挖与支护方法作一介绍。

## 第二节 放坡开挖

隧道埋深较浅,施工对周围环境影响较小,基坑开挖仅仅依靠适当坡率的边坡即可

保持土体稳定,可采用放坡开挖。此法虽然开挖方量大,但机械化程度高,施工速度快,质量也易得到保证。受地下水影响的工程,可采用井点降水法提高边坡的稳定性及改善基坑内施工环境。

放坡开挖是明挖法施工的首选方案。

### 第三节 悬臂支护开挖法

基坑的悬臂支护开挖法(见图 15-1-1)是将基坑围护结构插入基坑底部以下,然后直接开挖基坑内土体。结构处于悬臂状态,靠本身刚度和插入开挖面下的深度来平衡外侧土压力,开挖到设计标高后,再进行主体结构施工。由于基坑内无支撑,便于基础开挖和主体结构施工的机械化,也易保证工程质量。缺点是围护结构较复杂,增加了造价及施工难度。此法有时也用在有支撑开挖基坑的上部。

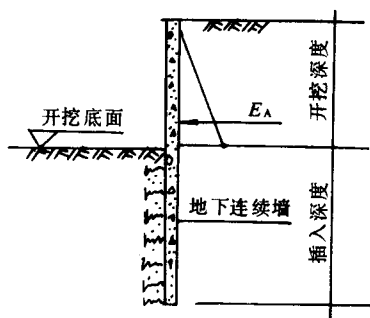


图 15-1-1 悬臂支护开挖法简图

围护结构常用木桩、钢桩、挖孔桩、灌注桩、钢筋混凝土预制桩或连续墙等组成。为加强围护结构的强度与刚度,减少其变形与位移,常采用下列工程措施:

1. 围护结构设计成刚度较大的截面形式。
2. 围护结构顶部设圈梁等,改善其整体受力状况,提高整体刚度。
3. 基坑外一定范围内挖去表层覆盖土,减少侧压力。
4. 基坑外进行井点降水,采用压密注浆、旋喷桩、搅拌桩或粉喷桩等方法加固土体,以减少侧压力。
5. 基坑内用井点降水和加固土体方法,使坑底土体固结,增加土体抗力。

6. 基坑内设置护脚,即预留一定高度和宽度的原状土台,以减少开挖时围护结构暴露高度。待基坑中间部分土体挖至设计标高,将中间底板灌完后,用跳槽开挖护脚土台,逐块浇灌这部分底板。

以上各种措施也可联合采用。

## 第四节 围护结构有支撑的明挖法

当基坑深度较大,开挖时除采用围护结构外,还常采用支撑加强围护结构以抵抗较大的侧压力。支撑分为水平支撑、斜支撑。也可采用锚杆加固围护结构。支撑的设置应考虑施工工艺的要求,支撑的强度、刚度、间距、层数及层位等应根据力学分析计算确定。施工中应经常检查支撑状态。必要时对其应力进行监控。

### 一、水平支撑(图 15-1-2)

水平支撑常用的形式有横撑和角撑,基坑拐角或断面变化处用角撑,其它一般用横撑。除环形围护结构采用环梁支撑外,其余是受轴向压力的直线型支撑。支撑可用木材、钢筋混凝土构件、钢管、型钢及型钢组合构件等。使用钢管、型钢及型钢组合构件作为支撑,拆装方便,占据空间较小,回收率高,还可以做成工具式支撑,故在实际工程中应用较多。

围护结构施工完毕,一般情况下可开挖至第一道支撑所需的标高,及时安装支撑并施加预应力。再采用挖槽法,先开挖支撑设计位置处土体(保留其两侧土体),挖至第二道支撑标高时,安装第二道支撑,并施加预应力,然后由上向下开挖土体至适当高度,继续用挖槽法安装下道支撑。重复以上方法,最后开挖至基底标高,再依次浇筑底板—下层侧墙—中板—上层侧墙—顶板。按要求的时序拆除支撑,完成结构体系转换。

采用水平支撑的优点是:墙体水平位移小,安全可靠,开挖深度不受限制;但要求围护结构的平面形状比较规则,以矩形为最佳。开挖基坑宽度较大时,支撑应加设中间支柱来保持其稳定性。中间支柱应在开挖前按设计位置作好。

### 二、斜支撑(图 15-1-3)

当基坑横向宽度较大或形状不规则,不便使用水平支撑时,可采用斜支撑。

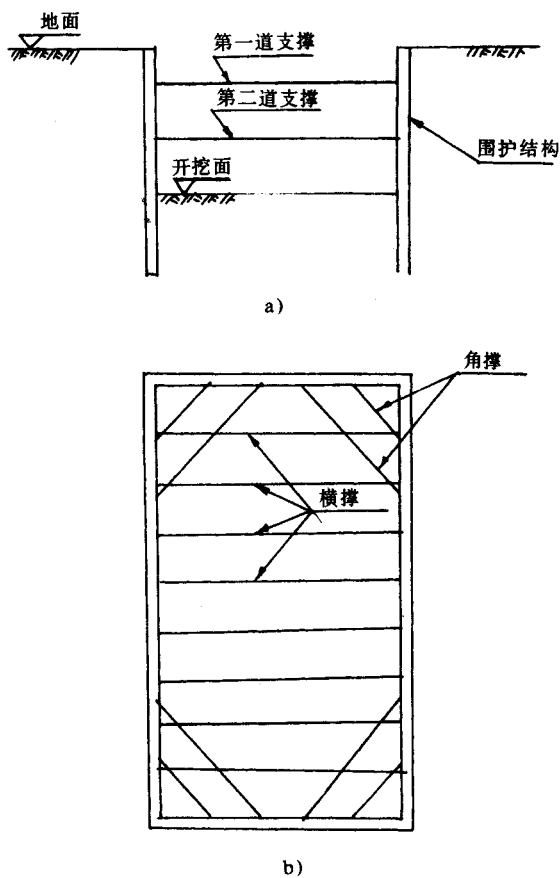


图 15-1-2 水平支撑开挖支护简图  
a)立面图 b)平面图

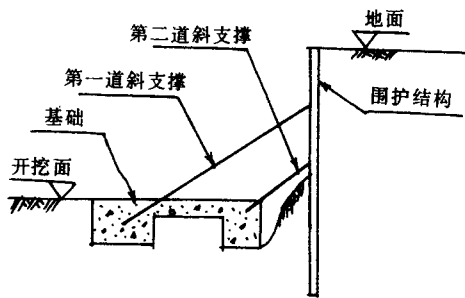


图 15-1-3 斜支撑立面图

斜支撑的施工常采用中心挖槽法开挖基坑内土体至斜支撑基础底标高,浇筑基础,及时安装斜支撑,使支撑一端支承在围护结构上,另一端支承在已浇筑的基础上,并施加

预应力,然后开挖其余土体。设有两道或多道斜支撑时,先安装外侧的长支撑,后安装内侧的支撑,并把所有斜支撑基础连为整体,形成结构底板。最后依次浇筑下层侧墙—中板—上层侧墙—顶板,并按要求的时序拆除支撑,完成结构体系转换。

采用斜支撑时,围护结构上部水平位移比较大,易引起基坑外地面及附近建筑下沉,对沉降要求严格的地段应十分慎重,因此基坑开挖深度也受到一定限制。并且斜支撑基础及结构底板需分批施工,工序交错复杂,施工难度大。

### 三、锚杆(图 15-1-4)

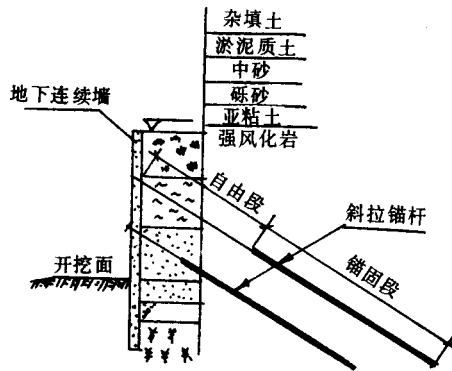


图 15-1-4 锚杆立面图

锚杆是一种设在基坑外的支撑。一般由锚头、拉杆和锚固体三个基本部分组成。锚头锚固在围护结构上。锚固体在岩石中的为岩石锚杆,在土层中的为土层锚杆。基坑开挖时,作用在围护结构上的侧应力可由锚杆与岩土之间产生的作用力来平衡。锚杆是受拉杆件,可采用高强钢索,充分发挥其抗拉性能。由于锚杆设置在基坑外,可提供宽敞的施工空间,有利于机械开挖坑内土体及组织结构主体施工。锚杆易于施加预应力,更好的控制围护结构的水平位移,减小地面及建筑物的沉降量,并能适用于各种形状的围护结构。锚杆可设成单层或多层,开挖深度不受限制,在大面积的基坑中,应用锚杆的经济效益更为显著。

其缺点是工艺复杂,锚杆不易回收,造价较高。当围护结构四周建筑物若有密集的深基础时,不宜采用。锚杆的蠕变会降低其承载力。在流砂地层中若锚头预留孔口与锚杆套筒之间的空隙过大时,易发生涌水涌砂,引起坑外地面和建筑物沉降。

锚杆的施工方法是开挖至锚杆所需标高,钻孔插入钢索后注浆,注浆七至十天后对锚杆施加预应力。

## 第二章 地下连续墙法

### 第一节 现浇地下连续墙

1950 年出现的地下连续墙 ,也称为混凝土地下墙、连续地中墙。它是将分段施工的单元地下墙连接成连续的地下墙体 ,替代传统的木桩、钢桩、钢筋混凝土桩等 ,起挡土、承重、防水作用。

地下连续墙分为现浇地下连续墙、预制地下连续墙、排桩地下连续墙。目前广泛应用于地下工程作为基坑开挖的围护结构 ,也可作为地下结构物的一部分。由于其墙体刚度大、防渗性能好 ,能适应软土地质条件 ,工程施工对周围土体扰动小 ,对周围建筑物影响小 ,施工时振动小、噪音低 ,在狭窄场地也能安全施工。但须随地质条件选用不同的挖槽机械及采取相应措施稳定槽壁。

在地下挖一段狭长的深槽 ,在槽内放入钢筋笼 ,浇筑成一段钢筋混凝土墙体 ,把这些墙体逐一连接起来形成一道连续的地下墙壁 ,就是一般所称的地下连续墙。

地下连续墙的施工流程见图 15-2-1。

#### 一、施工准备

包括编制施工组织设计 ,审阅技术文件 ,测量放线 ,场地规划与拆迁 ,道路、供水、供电等临时设施的建设 ,机械设备、材料的落实及设立试验室等工作 ,需在开工前完成。

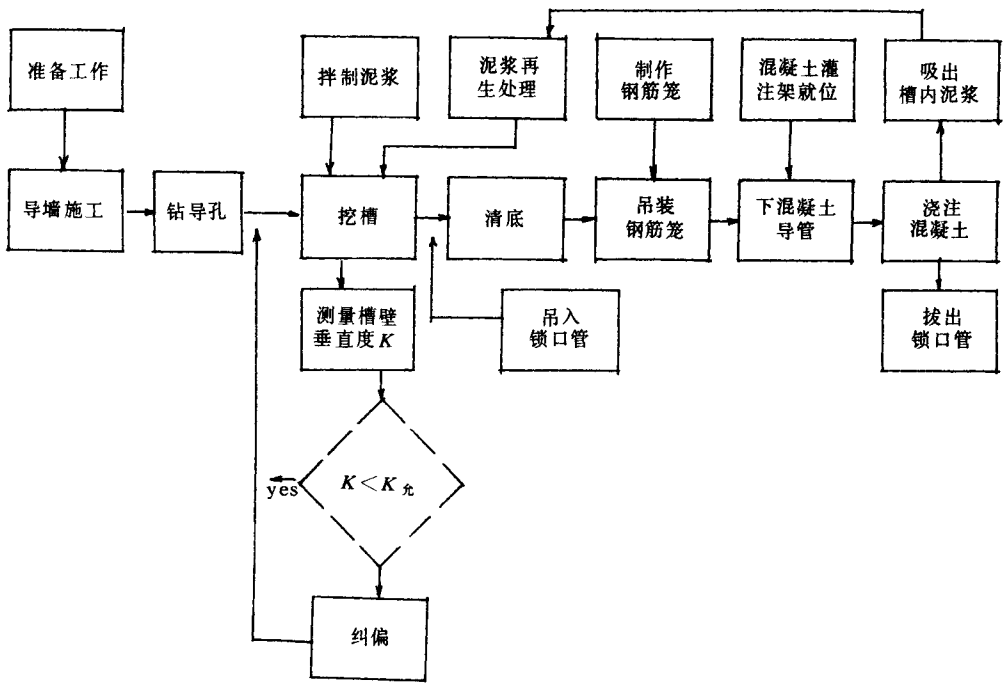


图 15-2-1 地下连续墙施工流程图

## 二、护壁泥浆

在地基中进行钻孔或挖槽,可通过泥浆的静压力来防止槽孔坍塌或剥落,维持槽孔的形状。同时泥浆还具有悬浮土渣把土渣携出地面的功能。槽孔形成之后,浇注混凝土把泥浆由槽孔中置换出来。

1. 泥浆的种类,有膨润土泥浆、聚合物泥浆、CMC 泥浆、盐水泥浆。使用的外加剂有分散剂、CMC 增粘剂、加重剂、防漏剂、盐水泥浆剂等。

2. 泥浆的使用方法:

(1) 静止方式:抓斗挖槽时不断注入新泥浆,直到浇注混凝土将泥浆置换出来为止。泥浆一直储存在槽内仅起护壁作用,不用来排渣。

(2) 循环方式:用泵使泥浆在槽底与地面之间进行循环,把土渣排出地面。有正、反循环两种。适用于钻头式挖槽机施工。

3. 泥浆质量要求:拌制和使用泥浆时,必须随时检验,不合格的泥浆必须及时处理。泥浆性能指标分(1)新浆质量指标(2)存放 24 小时质量指标(3)使用过程中的质量指标(4)废弃泥浆指标。



当泥浆达到废弃指标时应予废弃。未达到废弃程度的泥浆可回收,采用振动筛、旋流器或沉淀池等进行除砂净化再生利用。

4. 泥浆池容量 新鲜泥浆总需量,约为每幅槽段挖方量的 70%~80%(钻抓法)或 80%~90%(回转切削法)。若地层为砂砾质土时,宜适当增大。泥浆池总容积包括拌浆池、优质泥浆池、沉淀池、净化池、废浆池等。用一台抓斗挖槽时,大约需三倍单幅槽段挖方量的泥浆池,用回转式挖槽机时,约需四倍挖方量的泥浆池。

### 三、导墙

导墙的作用是:在挖槽孔时起导向作用,提高槽孔垂直精度;储存泥浆,保持泥浆液面高度;稳定槽壁;支档表土;支承施工设备及固定钢筋笼、接头管;防止泥浆渗漏及地表水流入。

导墙分为现浇或预制拼装钢筋混凝土、H 型钢等型式导墙。常用现浇钢筋混凝土导墙。

导墙深度一般为 1.2m~2.0m,内净宽比地下连续墙宽 5cm~10cm,顶面应高出地表 15cm 以上,并高于地下水位一般为 1.5m。导墙中心线定位,应考虑成槽垂直误差和地下连续墙变位,适当外移,防止侵限。

导墙形式 根据地质及地表情况不同,可选用不同的形式,有矩形、槽形、L 形、倒 L 形。在拐角处,常将其平面设计成 L、T、十字形(图 15-2-2)。

导墙面应垂直,精度要求 1/500(液压抓斗有纠偏装置者不受此限),且与连续墙轴线平行,内外导墙间距允许误差 5mm,内外侧墙顶高差允许 10mm。

导墙宜建在密实地基上,背后开挖回填部分需用粘性干土分层夯实。导墙应做成连续的。地下管线横穿导墙或地下连续墙浅部有较大障碍物时,应探明其位置后予以妥善处理。

导墙作完后,一般应即时在墙间加设支撑,防止导墙在外力作用下内挤。

### 四、挖槽机械

挖槽是地下连续墙施工最主要的工序之一。目前还没有一种能够适用于各种地质条件的挖槽机。因此,应根据不同的功能要求,不同的地质条件来选择合适的挖槽方法和挖槽机械。按挖槽机理来分,挖槽机可分为两大类:挖斗式挖槽机、钻斗式挖槽机。

#### (一)挖斗式挖槽机

这类机械的特点是既对土层进行破碎,又将土渣运出槽外,构造简单耐用、故障少。广泛用于软弱土层施工。挖斗式挖槽机的构成包括土斗,使土斗开闭、旋转、上下运行的

原动机、传动及动力结构,专用机架(或履带式起重机)。挖斗式挖槽机有蚌式挖槽机、铲斗式挖槽机、回转式挖槽机、螺旋钻等。

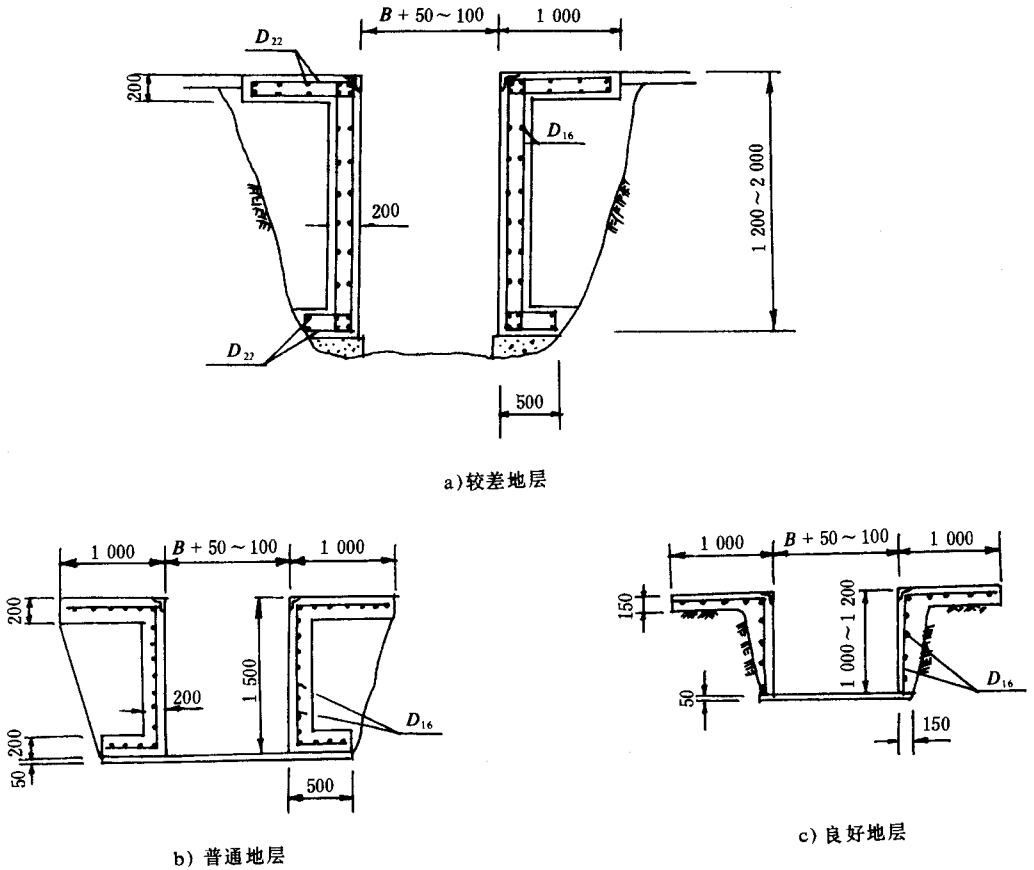


图 15-2-2 导墙截面形式

蚌式抓斗挖槽机最为常用,它利用斗齿切削土层并将土渣收容在斗内提出地面卸渣,然后又返回到挖土位置,进行新的循环。此类挖槽机可分为三种:钢索式抓斗挖槽机、液压式抓斗挖槽机、导杆式抓斗挖槽机。上部设导板以提高挖槽垂直度的抓斗称为导板抓斗。

(1) 钢索式抓斗挖槽机 抓斗可装备在普通的双卷筒的起重机上或卷扬机上,依靠斗体本身自重进行切削土体。操作简便,斗体损耗小,但挖槽慢、垂直精度低。

(2) 液压式抓斗挖槽机 抓斗工作时切削力不是主要依靠自重而是由液压缸的推进来完成,吃土深、挖土多,并能克服启闭时钢索磨损、更换不便等缺陷,提高了挖掘能力和速度,但斗体损耗较大。备有测斜纠偏装置,挖槽精度高。此类挖槽机使用较多。

(3)导杆式抓斗挖槽机:是将抓斗固定在一根刚性杆上,抓斗与导杆由起重机控制上下起落。由于晃动小,每个循环的工效高,精度高,但机构多,所需施工场地净空高。

蚌式抓斗挖槽机简图见图 15-2-3。

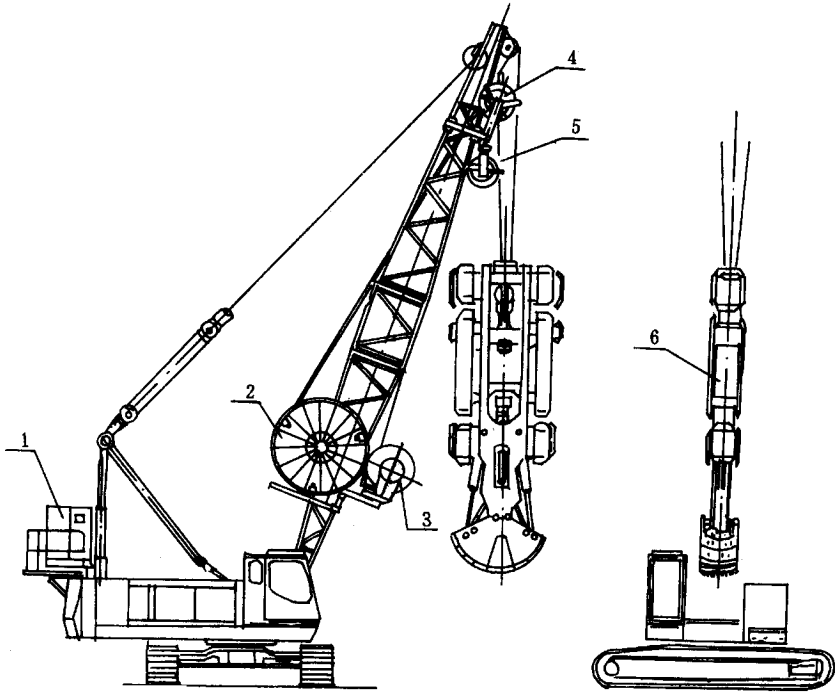


图 15-2-3 MHL 液压式抓斗与履带吊车起重机配套图

1—液压装置配电盘 2—软管卷筒 3—电缆卷筒 4—软管导向轮 5—电缆导向轮 6—MHL 抓斗

(二) 钻头式挖槽机

这类机械是用钻头对地层进行破碎,借助泥浆循环将土渣排出槽外。依钻头对地层的破坏方式可分为冲击式、回转式、凿刨式挖槽机、双轮铣槽机,其载运机械是专用机架或覆带式起重机。常用的是冲击式、回转式挖槽机和双轮铣槽机。

(1)冲击式挖槽机就是冲击钻机。是通过钻头上下运动,冲击破碎地基土,借助泥浆循环把土渣携出槽外。叠合钻孔可成槽。适用于大卵石、大孤石等较大障碍物和软硬不均的复杂的地层。挖槽精度较高,但速度较慢,多用于钻导孔和接合面的防渗构造施工。

(2)回转式挖槽机就是回转钻机,它是将钻头压入土层并使之回转来破碎土层。在松软的地层中速度快、精度高,但在砾石等硬地层中较困难。它又分为独头回转钻机和多头钻机。

独头回转钻机只有一个钻头,其开挖形状是圆形,叠合钻孔能成槽,成槽速度慢,主

要用于钻导孔。

多头钻机由数个钻头组合成一体,同时回转钻进切削土层,并有边刀上下滑动刮平槽壁。钻头边挖边下降。多头钻配有偏差纠正器。可以从垂直和水平两方向测定钻头偏差,通过可调导件进行纠偏,保证开挖精度。通常多头钻机由标准支架悬吊,也可将其吊在履带式起重机上。多头钻机挖槽精度高,但维修保养要求高,辅助设备较多,地质不均匀时,部分钻头易超负荷运转造成损坏。其工作原理图见图 15-2-4。

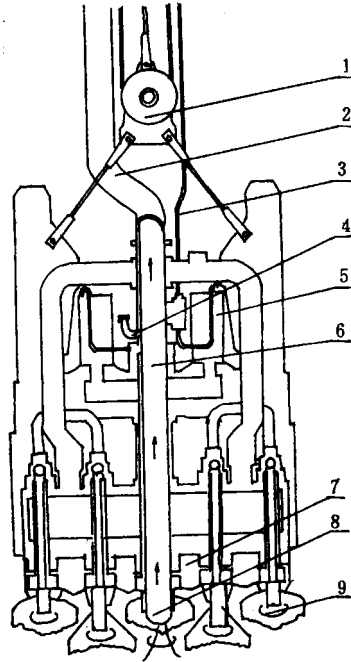


图 15-2-4 多头钻机工作原理图

1—滑轮组 2—反循环软管 3—电缆 4—压缩空气喷嘴;  
5—潜水电机 6—反循环轴 7—边刀 8—反循环钻头 9—回转钻头

### (3) 双轮铣槽机

是国内外新近采用的一种成槽机,其下端装有能旋转的多刃刀具切削破碎地层,通过反循环泵将碎渣排出槽孔。一次能完成槽形孔,效率高,设有纠偏装置因此精度高,适合坚硬岩土地层施工,由于反循环泵吸力较大在软土地层易塌孔不宜采用。

## 五、挖槽

### (一) 导孔施工

蚌式抓斗挖槽机施工前,常先以一定间距钻出垂直导孔,其作用是提高挖槽效率和

垂直精度,也便于接头施工。导孔的直径为地下连续墙的厚度,导孔间距为开斗宽度。导孔视具体情况可用回转式挖斗机、螺旋钻机、冲击式钻机、独头回转钻机。

(二)槽段的划分和施工机械

槽段长度选择,应根据地质、地下水位、有无地下管线等因素来决定。考虑槽壁稳定性和钢筋笼重量,槽段一段长 4m~6m。不良地层、附加荷载大时为 2m~3m,条件好可用至 7m~8m。拐角处应短些。槽段有一段式和多段式,多段式应跳挖。见图 15-2-5 所示。

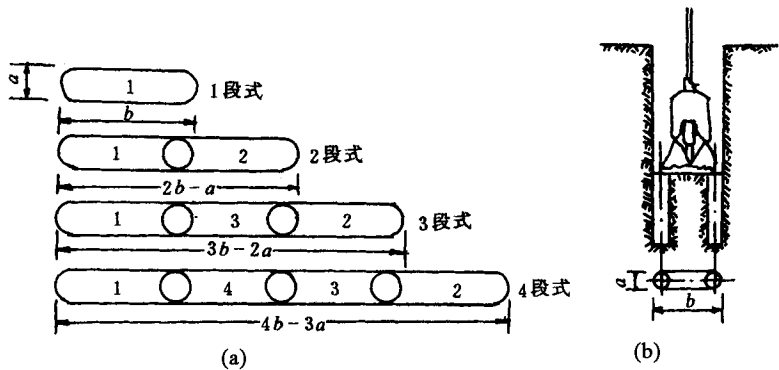


图 15-2-5 槽段划分及开挖

挖槽机采用最多的是蚌式抓斗挖槽机和钻机。采用回转式挖斗机、螺旋钻机、冲击式钻机和独头回转钻机时应沿槽段先打一排钻孔,然后用叠合钻孔的形式削掉两孔之间的尖凸角,使之成槽(图 15-2-6)。

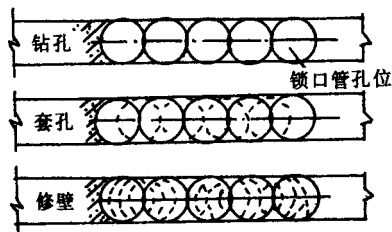


图 15-2-6 叠合钻孔成槽工艺图

(三)挖槽要领

(1)泥浆面一般应高于地下水位 1m,开挖过程中不低于导墙顶 0.5m,随挖随加泥浆。停挖时应把泥浆面加至不低于导墙顶 0.2m,以保证槽段稳定性。

(2)挖槽机的载运机械(履带式起重机)距槽边不小于 3m,履带宜垂直导墙。挖槽机不要碰撞导墙。其它机械不要在槽边停留。

(3)暂时不挖的槽段,导墙应用对口撑撑好。

(4)用抓斗挖土,挖完后应进行一次扫孔,以挖除欠挖部分,清除槽底的大块泥土。为避免超挖,清底前不宜挖至设计标高。

(5)两槽段接头处任何深度的偏差值,不得大于墙厚的三分之一,以防槽壁修直后,浇注时混凝土绕管,造成拔管困难、浪费砼和影响下段开挖。挖槽时随时检测槽壁垂直精度,随时纠正。

#### (四)挖槽过程中的事故及处理措施

(1)槽壁坍塌、漏浆或施工不慎引起液面太低造成槽壁坍塌,可调整泥浆配合比或加防漏剂,并恢复液面高度;泥浆质量不合格时应进行再生处理;因降雨等地下水位急剧上升时,应随时确保液面高出地下水位 1m 以上;因地下障碍物引起坍塌时,浅部的障碍物可挖除并用优质土回填后再挖槽,也可用地质套筒钻排除障碍物;存在极软弱层和松砂层时,应缩短槽段长度;因上部荷载大、受到偏压,引起坍塌时,应移走机械设备等附加荷载,进行减载和加固地基。

#### (2)挖槽机卡在槽内

主要是挖槽机停放在槽内被沉渣堆埋,槽壁偏斜过大或大块石落入槽内等引起。

措施:停止挖槽时,禁止把挖槽机放在槽内;清除泥浆中的土渣,不合格的泥浆不得使用;在粘土内挖槽时,泥浆应保持低粘度;修壁保持垂直精度;机具卡在槽内时不能强行提拉,可先排出泥渣石块,然后提拉。

### 六、吊入接头构件

接头构件可采用钢管、接头箱、型钢、预制钢筋混凝土等。前两种可以拔出,重复利用。常用钢管作接头管,又称锁口管。吊入时表面涂油,尽量使其紧靠原土层,垂直缓慢插入。

### 七、刷壁、清底

刷壁、清底的目的是清除接头部位的凝聚物、槽底已松动的泥块、沉淀物、不合格的泥浆。这些不利因素,将使混凝土上部不良部分增加;影响混凝土的强度和流动性及接头部位的防渗性;降低混凝土的灌注速度;促使钢筋笼上浮;加速泥浆变质;沉渣在槽底很难被混凝土置换会使地下连续墙承载力降低、沉降量加大;沉渣过多影响钢筋笼插到

预定位置,影响结构的标高。

具体作法：

(1)刷壁用吊车或钻机将刷壁器下到槽底,向已灌侧靠拢贴紧,提起刷壁,反复数次把泥土除净为止。刷壁器应经常清理干净,以提高刷壁效果。刷壁不彻底,接头夹泥过厚,开挖后将造成严重渗漏,很难处理。

(2)清底可用抓斗抓泥和置换泥浆两种办法。抓斗挖槽时,不要挖到设计标高,留出0.5m以上土体,待清除浮土沉渣后再挖至设计标高。置换泥浆排泥时可采用吸泥泵排泥、压缩空气升液排泥或潜水泥浆泵排泥。应由底部抽吸,顶部补浆,保持液面高度。

刷壁、清底后应使槽内泥浆达到规定要求,一般比重小于1.15,粘度小于30s,含砂量小于10%。

## 八、钢筋笼制作及吊装

### (一)钢筋笼制作

钢筋笼在现场模型台架上制作,其大小视槽段长宽、起吊能力、净空而定,可制成整幅式或分段式。钢筋笼应按设计设置保护层垫块、连接钢筋、支撑预埋件等。钢筋笼起吊点附近两竖排向主筋间焊成W型抗弯钢筋片,减小起吊时钢筋笼变形。在灌注混凝土导管处的竖向筋应设在导管侧,以利导管上下活动。钢筋笼制作误差应在允许范围内,并注明上下、里外侧,及槽段编号。

### (二)钢筋笼的吊入(图15-2-7)

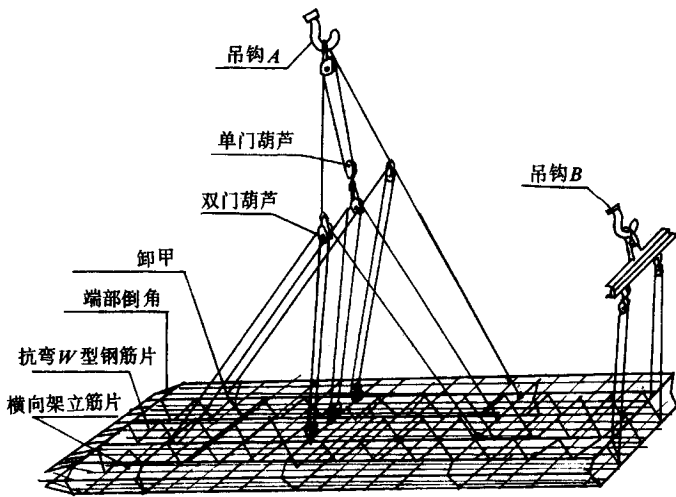


图15-2-7 钢筋笼与双钩吊

起吊前应验算起吊能力。钢筋笼的下端不得在地上拖拉、碰撞,应系上拖绳防止其摆动,运至槽口时对准后慢速下降就位。需在槽口上对接的钢筋笼,将先吊入槽的下段临时固定在导墙上,再吊上段对准后焊成一体,继续吊装入槽就位。钢筋笼吊装就位应保证上下前后左右位置的正确性。就位后,应将钢筋笼固定,防止浇注混凝土时上浮。钢筋笼在水中的浸泡时间不应大于 24 小时,避免降低钢筋的握裹力。

### (三) 事故处理措施

(1) 为防止钢筋笼变形和破坏,吊装应采用主副吊钩,并用起吊架均衡起吊。吊点处钢筋笼设 W 型抗弯钢筋片,笼内吊点设横穿钢管使钢筋较均匀受力,局部拉脱处应及时补强。

(2) 钢筋笼入槽困难主要是因为槽壁偏斜、壁面不平内鼓、槽底有沉渣、钢筋笼不平直。应通过修壁扫孔保持槽壁垂直精度,缩短槽段开挖宽度,增加泥浆比重,增大泥浆与地下水位高差,保持槽壁稳定性,通过清底保证槽底设计标高,保证钢筋笼加工精度,增加钢筋笼的抗弯刚度减少其变形。

## 九、浇筑混凝土

水下灌注混凝土应比设计等级提高一级。水灰比在 0.5 ~ 0.6 之间,水泥用量宜大于  $400\text{kg}/\text{m}^3$ ,坍落度  $(20 \pm 2)\text{cm}$ ,流动保持率  $k$  为 1 ~ 2 小时为 20cm,具有良好的和易性和粘聚性。混凝土的骨料宜采用中粗砂及粒径不大于 40mm 的碎石。水泥宜采用普通硅酸盐水泥。

浇筑水下混凝土应采用导管法。导墙上槽口应铺盖板,防止混凝土掉入槽内。导管事先应检查并进行水压试验。导管与漏斗相接,在漏斗内放置铁格栅以截留大块石,导管内塞入底塞,导管下端放在槽底。每幅槽段一般用两根导管,其间距不大于 3m,浇筑混凝土时交叉使用两导管,尽量使混凝土表面平整上升,导管埋入深度 2m ~ 6m。边浇筑边抽出槽内泥浆,保持液面高度。

在浇筑混凝土过程中,应经常测量导管底与混凝土面高差,根据测量结果决定提升及拆除导管长度。在浇至顶部时,由于落差小,混凝土流动困难,导管埋深可控制在 1m 左右。必须确保混凝土的供应能力,使浇筑能连续进行,中断时间不宜超过半小时。偶有中断时,应经常活动导管,防止导管被凝结、堵死。浇筑混凝土时应防止脱管、返浆、漏浆、导管破裂、堵管等事故。发生堵管时,应分段拆下导管,将管内混凝土清出槽外,不允许吊升整根导管,以免混凝土散落入槽。安装好导管后按重新浇筑办理。



十、拔出接头构件

提拔接头构件宜采用顶升架。根据混凝土开始凝结的时间 ,依次适当的拨动 ,最后全部拔出。若拔管过早会影响接头的强度和形状 ,拔管过迟可能拔不出来。一般是浇筑后 2~3 小时开始 ,每次拔 10cm 左右 ,已拔 0.5m~1m 后 ,每隔半小时拔 0.5m 左右。

接头构件拔不出的主要原因是 :被钢筋笼卡死 ;提拔过晚 ,被混凝土凝结 ;土层阻力较大。使用吊车提拔时不能强行提拔 ,以免翻车 ,拔不动时应改用顶升架顶拔 ,如仍拔不动 ,则继续浇筑槽段混凝土 ,待邻幅槽段开挖后再将其取出。

第二节 预制地下连续墙

预制地下连续墙是挖槽后用预制的墙板组拼并经水泥浆固化后形成的地下连续墙。预制地下连续墙有板—梁和板—板法。板—梁法中 ,板的作用是将土压力传递到梁上 ,梁比板长 ,梁设有锚杆 ,锚固于更深的地层。常用的为板—板法 ,它又可分为板樁槽、板槽体系。平面简图见图 15-2-8。

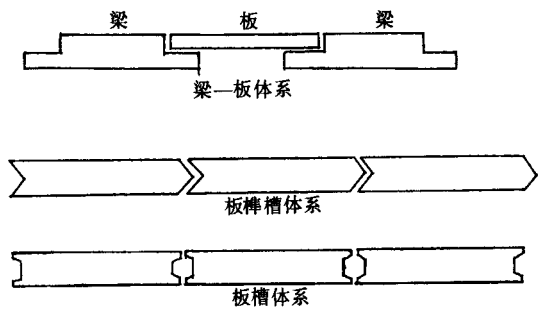


图 15-2-8 预制地下连续墙平面简图

预制地下连续墙施工的主要工序有 :1)导墙施工 ;2)制备护壁泥浆 ;3)挖槽 ;4)清底和刷壁 ;5)用锚固水泥浆替换护壁泥浆 ;6)吊装预制墙板 ;7)接缝处理。1~4 道工序作法与现浇地下连续墙基本一样 ,导墙内净宽要求比地下连续墙宽 15cm 左右。

锚固水泥浆以水、起缓凝作用的膨润土、砂子以及抗腐蚀作用的水泥、粘结掺合料调制成的。其比重约为 1.25 ,水灰比约为 0.3。清底和刷壁完成后 ,把锚固水泥浆注入基坑底部 ,吊放预制墙板 ,置换全部护壁泥浆。为了使墙板顺利压入槽内 ,并将其嵌住 ,应

采用流动性极大的水泥浆。水泥浆的标号随墙的高度而变化,在底部采用标号较高的以承受较大的竖向荷载。靠土侧采用防水水泥浆。

吊装预制墙板时,通过预埋在墙板里的导杆用吊车悬吊墙板入槽,墙板又通过钢构件支承在导墙上,浸渍于锚固水泥浆中。墙板的位置可由导杆上螺栓调整。相邻墙板间可采用锚杆或张拉设备相互扣住,保持整体稳定。水泥浆凝固起锚固作用后,预制地下连续墙也就形成了(图 15-2-9)。

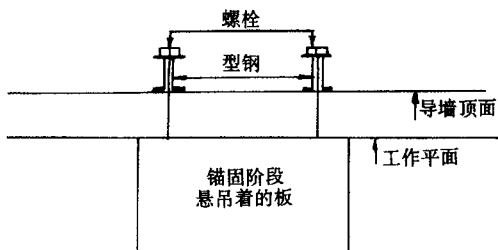


图 15-2-9 锚固阶段简图

墙板间接缝处理:1)简单缝,可向两板间的缝隙灌入水泥浆;2)为了提高接缝抗剪强度,可在缝中放置钢筋混凝土楔;3)在水泥浆中放止水带(图 15-2-10)。

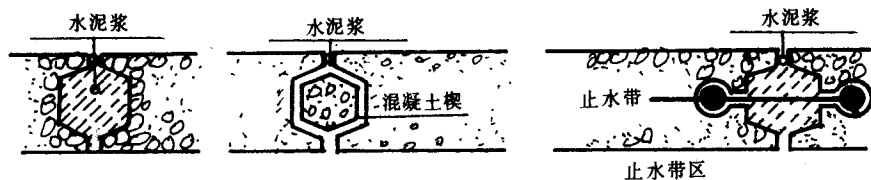


图 15-2-10 板间接缝处理

与地下连续墙相比其优、缺点为:1. 优点(1)墙板生产效率高,施工速度快。(2)墙的防水性能好,平面平整。(3)墙的位置较准确,工程精度高,后续表面处理也较简单。2. 缺点(1)为了预制和贮存,应有较大的场地。(2)每块墙板较重,安装需要较大吨位的起重机,为了减轻板的重量,正研究采用空心板、轻骨料混凝土、预应力墙板等。

### 第三节 排桩地下连续墙

排桩地下连续墙是把各个独立施工的桩连成一体,组成的地下连续墙。

## 一、钻冲孔排桩地下连续墙

采用两钻一冲,即按一定桩距钻孔并浇筑钢筋混凝土成桩,然后在两桩间冲孔再浇筑钢筋混凝土,形成排桩地下连续墙。比较适合在狭窄、净空高度受限制、大卵石等障碍物较多地段和无大型挖槽机情况下使用(图 15-2-11)。

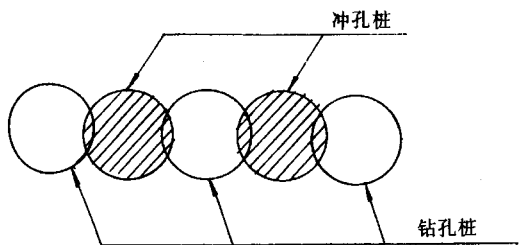


图 15-2-11 钻冲孔排桩地下连续墙平面简图

### (一) 钻冲孔排桩地下连续墙施工机械

钻孔可用旋转钻和冲击钻。冲孔用冲击钻,其使用的钻头有:一是配平行钻头、鼓形钻头和修平钻头。先用平行钻头粗钻一遍,再用鼓形钻头进行冲削,最后用修平钻头将钻孔桩侧面修平;二是目前常用的方法,使用四周焊有锤齿特制的冲锤,冲削钻孔桩侧面成孔。

### (二) 施工方法

泥浆制备及导墙施工两工序与现浇地下连续墙相似。

排桩地下连续墙成孔时,要求每一根桩孔都要满足垂直精度的要求。

水下混凝土浇注时,为确保钻孔桩的混凝土保护层,在连续墙纵向,桩的钢筋笼两侧挂上 2 根定位钢管,横向在钢筋笼上焊定位钢块,浇筑混凝土后拔出钢管。冲孔桩钢筋笼纵横向均设定位钢块。

### (三) 排桩地下连续墙的特点

(1) 桩径小有效搭接面小,防渗效果较差。桩径大,搭接面大,但会造成冲孔难度。

(2) 排桩钢筋笼位置准确度有严格要求,偏斜过大,冲孔时就会碰上钢筋造成卡锤。

(3) 冲程控制。冲孔时,冲锤对钻孔桩两边的混凝土进行切割,冲程过大,也容易造成卡锤,应由小到大试冲而定。

(4) 锤齿磨损较大,应勤修冲锤。

(5) 墙顶宜设压顶梁, 形成整体增加稳定性。

(6) 与现浇地下连续墙相比, 不但具有防水挡土承重功能, 而且施工简便, 成本较低; 不需设置笨重的接头管, 省去吊放和拔除接头管的大型设备; 孔壁稳定性好, 不需大型挖槽机, 钻孔与冲孔的时间差要求不高, 便于流水作业, 可多工作面作业。其缺点是接合面多, 整体性较差, 抗渗性较差, 工艺要求较严, 施工速度较慢。

## 二、挖孔排桩地下连续墙

在地下水影响不大、适合人工挖孔的地下工程可采用挖孔排桩地下连续墙作为围护结构或主体结构一部分。其优点: 可多工作面同时作业加快速度; 不需大型提拔、吊装、挖槽设备; 地下连续墙的尺寸精度、防水、混凝土的质量都能得到很好保证; 施工简便、材料消耗少、造价低。挖孔桩多采用带护壁的方桩。

施工方法: 根据地质条件间隔挖孔, 并及时施作护壁, 保持土体稳定; 挖到桩底标高, 吊装桩身钢筋笼就位, 并浇筑混凝土, 完成挖孔桩; 然后在已作好的挖孔桩相邻桩位挖土, 凿除已成桩护壁的混凝土, 将钢筋与新桩护壁钢筋相接、浇筑护壁混凝土, 挖到新桩底标高, 吊装钢筋笼就位, 浇筑混凝土, 新旧桩连为一体。这样就形成了地下连续墙(图 15-2-12)。

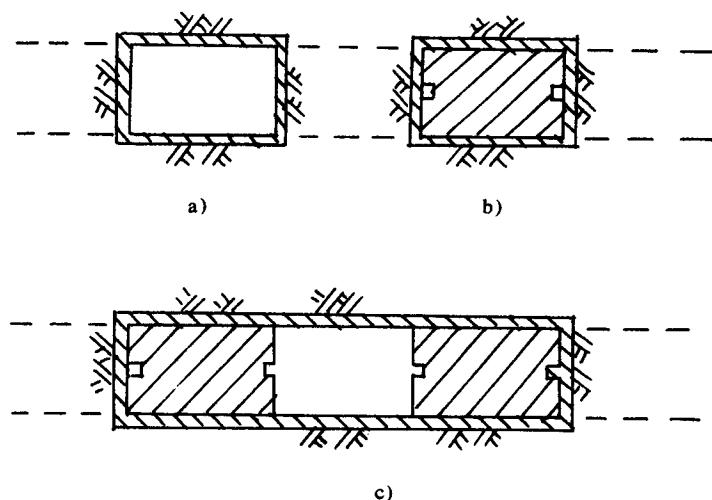


图 15-2-12 挖孔排桩地下连续墙施工平面简图

a) 桩孔护壁开挖 b) 成桩 c) 桩间开挖

#### 第四节 成功实例分析

## 一、黄鹤山隧道

### (一)工程概况

黄鹤山隧道是杭州市绕城高速公路上的一座隧道,分左右线,横穿皋亭山,隧道最大埋深约 280m。隧道洞口段为志留系上统塘家坞组灰黄、灰紫色中—薄层桩岩、灰石石英砂岩夹紫红色薄层泥质粉砂岩、粉砂质泥岩。地表多为强—弱风化状,泥质粉砂岩多为全风化状。本隧道为三车道隧道,洞口段 165m,埋深 10~28m,属浅埋地段,围岩类别为 II—III 类。隧道单洞净宽 14m,净高 5.0m,开挖宽度 16.07~16.368m,开挖高度 10.12~10.44m,开挖面积 125.1~162.5m<sup>2</sup>,内轮廓为三心圆。隧道地下水丰富,在这种条件下,施工难度很大,必须采取强有力的辅助施工措施才能保证隧道施工的安全。

## (二)洞口浅埋段隧道施工方案

洞口浅埋段为Ⅱ~Ⅲ类围岩,根据本隧道的特点及设计的要求确定如下施工方案:洞口浅埋段采用40m长管棚作超前支护,双侧壁导坑法开挖;长管棚段过后的Ⅲ类围岩地段在超前小导管的支护下,采用上、下半断面短台阶法开挖。

### (三)洞口长管棚施工

1. 有关参数及要求(见图 15-2-13)

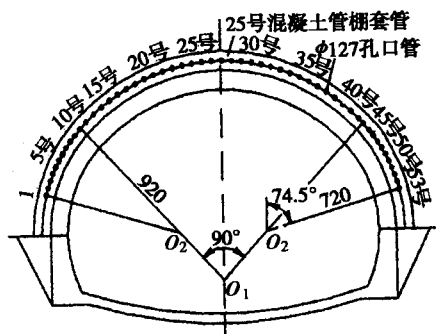


图 15-2-13 长管棚立面图

钢管规格:热轧无缝钢管  $\Phi 108 \times 6\text{mm}$ , 节长 3m、6m; 管距:环向 42cm; 仰角:  $1^\circ$ ; 方

向:与线路方向平行,施工要求:径向误差不大于 20cm,隧道径向同一横断面的接头数不大于 50%,相邻钢管的接头数必须错开 1m。

## 2. 长管棚施工

a. 配备 MK-5 型工程钻机钻孔并顶进长管棚钢管。

b. 在洞口处先施作长 2mC25 混凝土套拱作长管棚固定墙,套拱在明洞轮廓线以外施作,套拱内埋设 4 根 20b 工字钢,工字钢上焊接  $\Phi 127$  的孔口管作为长管棚的导向管。

c. 管棚分为单号有孔钢花管(注浆管)和双号无孔钢花管(检查管)。先打有孔钢花管,注浆后再打无孔钢花管,通过无孔钢花管管孔钻进时流出的液体及其颜色检查注浆管的注浆质量。

d. 为便于钢管的顶进,钢管接头采用丝扣连接,丝扣长 15cm,为使钢管接头错开,编号为奇数的第一节钢管采用 3m,编号为偶数的第一节钢管采用 6m,以后每节均采用 6m 长钢管,钢管入土长度为 40m。

e. 钻孔进管:钻机立轴方向必须严格按测设的方向准确控制,以保证孔向正确。钻进时及时用测斜仪测量钻进的偏斜度,发现偏斜要求及时改正。每钻完一孔,用高压风清孔,清孔后用钻机顶进钢管,钢管顶进后及时注浆。

f. 管棚注浆:注浆前应先进进行注浆的现场试验,注浆参数通过现场试验按实际情况确定。浆液采用水泥—水玻璃双液浆,为保证对隧道周围围岩的加固效果,要求注浆扩散半径不小于 0.5m,可以通过下两个孔的钻探检验。注浆压力初压控制在 0.5 ~ 1.0MPa,终压 2.0MPa,可利用注浆量和压力双指标控制注浆效果。注浆结束后及时清除管内浆液,用 30 号水泥砂浆将钢管充填密实,以增加管棚的刚度和强度。无孔钢花管直接用 30 号水泥砂浆充填密实。

## (四)洞口浅埋段开挖施工

本隧道为三车道隧道,开挖跨度大,洞口埋深浅,地质条件差,为微风化岩屑石英砂岩加薄层粉砂质泥岩,节理裂隙发育,不稳定,易坍塌。因此,该段隧道施工的关键是防止坍塌。根据这样的围岩特点,确定此段的施工原则:“短进尺、弱爆破、强支护、勤量测、早闭合”。

施工方法:洞口段 II 类围岩地段在长管棚支护下,采用双侧壁导坑法施工。两侧导坑超前掘进,初期支护紧跟,待双侧导坑封闭稳定后,进行拱部环形开挖,拱部开挖弃渣从导坑运出,最后开挖中部和封闭衬砌。施工步骤如图 15-2-14。

### 1. 侧壁导坑施工

导坑断面开挖尺寸和形状既要考虑满足机械化作业的需要,又要尽量减少后部工序

开挖的跨度,因此开挖宽度确定为 4.72m,以满足单车施工运输的需要;高度确定为 7.85m,在机械化施工作业高度范围内,同时又减少后部工序开挖的宽度,导坑形状靠近边墙一侧与曲墙墙背相同,上部为一个半径 5.41m 的圆弧,下部为直墙。

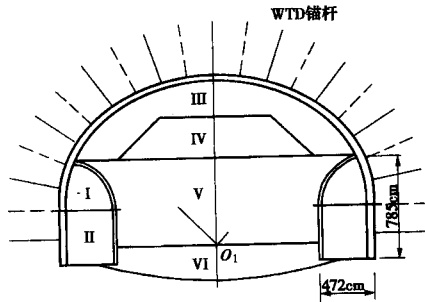


图 15-2-14 双侧壁导坑施工步骤图

为便于施工和支护,导坑采用微台阶法施工,台阶长度 2~4m,即如图 15-2-14 中 I 部比 II 部超前 2~4m。I 部采用人工手持风钻打眼,爆破后渣落至 II 部,I 部少量的渣由人工翻至 II 部,装载机装至自卸汽车运至洞外。开挖进尺控制在 0.8m,每天可施工 2~3 个循环进尺。I 部钢拱架安装时打好锁脚锚杆,以确保在 II 部开挖时初期支护的稳定。

2. 拱部开挖

拱部开挖采用短台阶留核心土,核心土顶宽 4.0m,高 2.5m。环形开挖数量少,时间短,且便于人员操作,便于开挖后迅速架设钢拱架与侧壁导坑连接成环,将最危险的拱顶围岩临空暴露时间减至最短,从而保证上覆极薄层岩体的稳定。由于管棚注浆效果好,围岩裂隙被浆液填充形成固结的整体,隧道拱部开挖时围岩比较稳定,没有出现坍塌现象。

3. 核心体及仰拱施工

核心体 IV 部保持与 III 部开挖距离为 3~5m,以利安全、支护和出渣。

核心体 V 部开挖时,暂留 VI 部,以利隧道的稳定。待 V 部开挖一定距离后,VI 部采用分段跳槽整幅宽度开挖,长度控制在 3~5m,并及时灌注仰拱混凝土。待仰拱混凝土强度达到 1.2MPa 后,即可进行填充混凝土施工,填充混凝土可按隧道半幅施工,另半幅作为施工便道,待混凝土强度达到 70%后作为运输通道,施工另半幅填充混凝土。

(五) III 类围岩施工方法

长管棚过后 III 类围岩地段在超前注浆小导管支护下,采用上下半断面法开挖。超前注浆小导管长 3m,搭接 1m。

上半断面开挖 A 部为弧形导坑,采用光面爆破,中间留核心体,核心体台阶长度 3 ~ 5m。A 部开挖为便于机械作业和进行初期支护,确定为 4.8m。上部架设钢拱架时,在拱脚打好锁脚锚杆,以确保在 C 部开挖时初期支护的稳定。上部开挖进尺控制在 1.0m。

台阶后部进行下部中间拉槽,如图 15-2-15 中 B 部。下部拉槽时,两侧边墙部分留 1.5m 左右宽,以利上半部分的稳定。中间拉槽部分底部宽约 8m,高 4.3m,满足机械化施工的宽度和高度,开挖至设计路面线处。

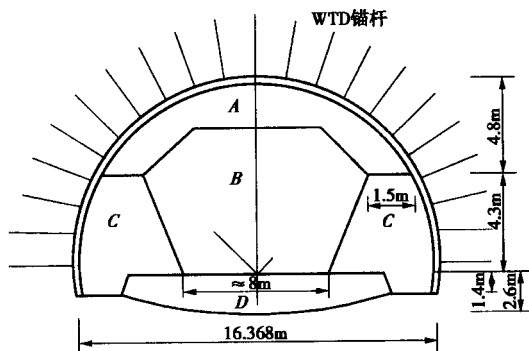


图 15-2-15 III 类围岩上下半断面施工图

当中间拉槽 B 部开挖一定距离后(约 20 ~ 30m),开始进行下部两侧预留部分 C 部的开挖。C 部开挖时采用两侧错开、单侧跳槽开挖马口的方法,每次开挖进尺控制在与拱部连接两榀拱架的长度,以确保拱部的稳定。

仰拱部分采用与洞口 II 类围岩一样的方法施工。

#### (六) 施工量测

实施监控量测的目的具体包括:

a. 通过监控量测了解各施工阶段地层与支护结构的动态变化,把握施工过程中结构所处的安全状态,判断围岩稳定性,支护、衬砌可靠性。

b. 用现场实测的结果弥补理论分析过程中存在的不足,并把监测结果反馈设计、指导施工,为修改施工方法、调整围岩级别、变更支护设计参数提供依据。

c. 通过监控量测对工程施工可能产生的环境影响进行全面的监控。

d. 通过监控量测进行大跨隧道日常的施工管理,确保施工安全和施工质量。

e. 通过施工现场的监控量测,确定二次衬砌合理施作时间。

f. 通过监控量测了解该工程条件下所表现、反映出来的一些地下工程规律和特点,为今后类似工程或该工法本身的发展提供借鉴、依据和指导。



根据本隧道的特点,将地质与初期支护观察、水平净空收敛量测、拱顶下沉量测、锚杆轴力作为施工监控量测项目。

遇下列情况之一,立即采取补强措施,改变施工方法或设计参数,增强初期支护:

- a. 隧道开挖后,工程地质和水文地质、围岩类别比预计的要差。
- b. 喷射混凝土层裂缝多、裂缝大或不断发展。
- c. 实测位移值超过规定的允许值或类似条件下的隧道位移值。
- d. 位移速率无明显下降,实测位移值已接近规定的允许值,位移量可能超过预留变形量。
- e. 稳定性特征出现异常状态。

本隧道洞口浅埋地段的监控量测结果显示,收敛和下沉值都在设计要求之内,没有出现较大的变形和下沉。

## 二、薛公岭隧道

我国区域辽阔,地形复杂,尤其是地势起伏多变的山谷丘陵地带,对公路建设提出了很高的要求。根据路线的选取要遵循“经济、合理、适用”的原则,修建隧道可以缩短公路里程,改善线性和交通运输条件,从而提高车速,并能保护国土环境,能在较短时间内收回投资,有着十分显著的经济效益和社会效益。因此,在公路建设中隧道工程日渐增多,逐渐代替了以前那种“逢山尽量绕着走”的做法。

但是随着公路隧道的日益增多,其选线也面临着巨大的挑战,大多数隧道都有可能穿越偏压、浅埋、软土、滑坡等不良地段,成为隧道建设中的施工难点。目前这些不良地段的加固方案均根据以往工程经验,以工程类比法为加固设计依据,况且类比前提几乎只考虑围岩的类别,而忽视了围岩的具体物理力学性质,也未加细致深入地分析支护结构的加固机理,使部分结构的支护能力得不到正常发挥,造成经济上的浪费,同时也有可能给隧道的后期运营埋下安全隐患。因此,结合薛公岭隧道在浅埋粘土质围岩中的支护方案,与广大隧道工作者共同探讨特殊地段加固方案的合理性,同时探寻新的预加固方法。通过新的施工工艺推广,降低工程造价,提高工程安全系数,保证工后的顺利运营。

### (一)工程概况

薛公岭公路隧道是“青岛国道主干线汾阳至离石”段最长的隧道。隧址区地处吕梁山脉基岩中山区,是构造运动上升区,其形成受中生代燕山期构造控制,以剥蚀为主,侵蚀次之。海拔 1489~1716m,相对高差 227m,微地貌为分水岭、沟壑、坡、梁等,基岩冲沟多呈“V”字型,局部地段为基岩陡坡。区内虽基岩大面积裸露,但植被十分茂密,为国家

自然森林保护区 ;自然坡度一般  $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$  ,部分坡脚残积层厚约  $0.3 \sim 8\text{m}$ 。

隧道分左右双线 ,第七、第八两个施工合同段。第八合同段起讫桩号根据原设计分别为左线  $\text{LK}28 + 300 \sim \text{LK}29 + 315$  ,全长  $1015\text{m}$  ;右线  $\text{RK}28 + 300 \sim \text{RK}29 + 240$  ,全长  $940\text{m}$  ,计算行车速度  $80\text{km/h}$  ,隧道建筑限界 :净宽  $9.75\text{m}$  ,行车道  $7.5\text{m}$  ,限高  $5\text{m}$ 。洞身段衬砌均按新奥法原理设计 ,衬砌断面内轮廓采用单心圆结构。

(二)问题的提出

设计单位在做完勘察之后 ,根据隧道围岩的岩性、岩体结构、结构面发育特征、物理力学参数及各项定性、定量成果资料综合分析 ,按照《公路隧道设计规范》将第八合同段围岩分类如表 15 - 2 - 1 所示。

表 15 - 2 - 1 隧道围岩分类表

围岩类别	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ 浅	明 洞
起讫桩号	$\text{LK}28 + 300 \sim \text{LK}28 + 350$	$\text{LK}28 + 350 \sim \text{LK}29 + 090$	$\text{LK}29 + 090 \sim \text{LK}29 + 305$	$\text{LK}29 + 305 \sim \text{LK}29 + 310$
起讫桩号	$\text{RK}28 + 300 \sim \text{RK}28 + 370$	$\text{RK}28 + 370 \sim \text{RK}28 + 950$	$\text{RK}28 + 950 \sim \text{RK}29 + 235$	$\text{RK}29 + 235 \sim \text{RK}29 + 240$

其中隧道左线进口段  $\text{LK}29 + 090 \sim \text{LK}29 + 305$  和右线出口段  $\text{RK}28 + 950 \sim \text{RK}29 + 235$  均位于山体坡脚部位 ,属浅埋区。地表植被丰富 ,主要为杂草和油松 ,表层土体肥沃 ,植物根系发达( 图 15 - 2 - 16 和图 15 - 2 - 17 )。

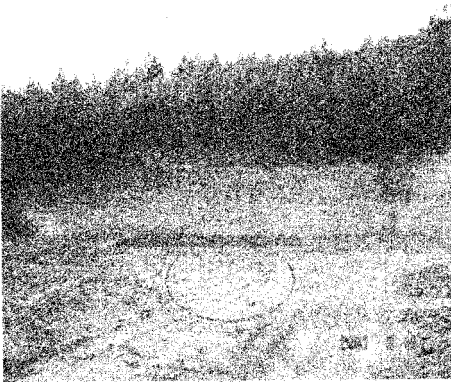


图 15 - 2 - 16 左线进口

根据设计文件 ,隧道浅埋段埋深最少只有  $3.99\text{m}$ 。后探明左线进口段土质围岩约  $30\text{m}$  ,右线出口段土质围岩约  $50\text{m}$ 。在施工时发现 ,隧道左线进口、右线出口围岩性质与

原设计大相径庭(原设计文件是纯粹破碎灰岩),清表开挖时两者表层均为松散土夹石,为明显残存坡积物。探坑从上至下表现为腐殖土、粉性土、粘性土(图 15-2-18)。开挖至隧道设计轮廓线后,洞身一直位于粘性土层,含水量为 26%,无法根据原设计方案按照Ⅱ类浅埋围岩进行支护。鉴于工期原因,施工单位在洞口浅埋段按Ⅰ类围岩自行设计了初期支护方案,具体如下:



图 15-2-17 右线出口

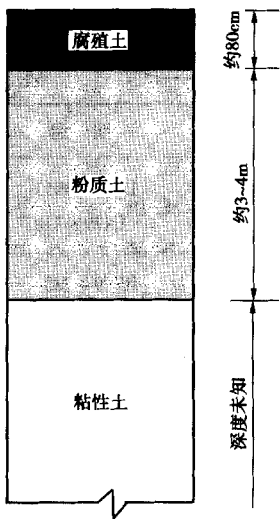


图 15-2-18 隧道顶土层概况

- a.  $\Phi 50$  超前导管注浆支护,环向间距 30cm,长  $L = 600\text{cm}$ ;
- b.  $\Phi 22$  锚杆,长  $L = 4\text{m}$ ,间距 环向  $\times$  径向 =  $80\text{cm} \times 60\text{cm}$  梅花形布置;
- c.  $\Phi 8$  钢筋网片  $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ ,  $I_{20a}$  钢拱架,间距 60cm;
- d. C25 喷射混凝土,厚度 25cm。

具体布置如图 15-2-19。

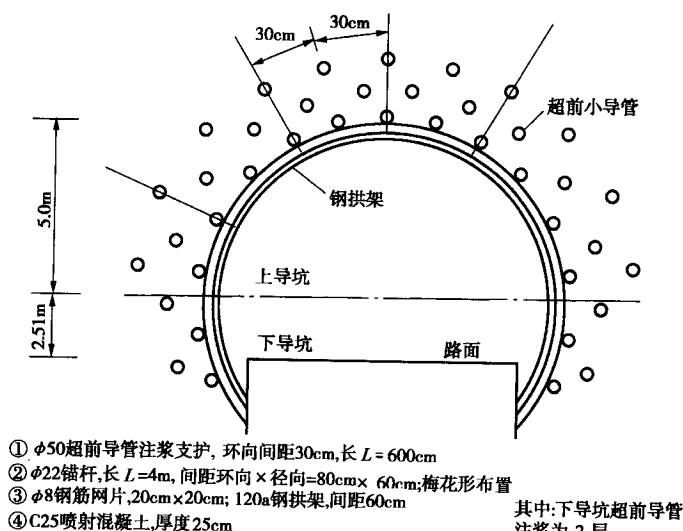


图 15-2-19 初期支护设计

经过分析该地段围岩粘性土的物理力学性质, 结合锚杆等加固机理, 对以上设计方案提出以下三点异议, 和广大隧道工作者探讨:

- 锚杆的加固能力是否能得以正常发挥;
- 浅埋段隧道地表预加固能否采取新方法;
- 工程类比法仅以围岩类别为基础是否存在局限性。

### (三) 问题的具体分析探讨

经过分析新奥法支护设计原理和锚杆加固机理, 结合粘性土的物理力学性质, 提出以下观点。

#### 1. 新奥法重申

新奥法是一个具体引用岩体动态性质的完整力学概念的隧道支护方法, 其理论发展基础是岩石力学。主要内容就是最大限度地利用围岩的自稳能力, 在隧道开挖应力释放过程中, 围岩由原平衡状态过渡到新的平衡点, 在转变过程中, 紧密结合监控量测数据, 根据围岩性质, 适时进行初期支护, 实现信息化施工; 同时初期支护主要以柔性支护为主, 即主要采用锚杆喷射混凝土法对具有一定变形量的围岩进行初期支护加固, 使围岩和支护结构重新组成统一体, 共同承担围岩压力, 同时在加固过程中仍有微量变形余地, 在支护体强度提高过程中, 围岩表层岩体由未支护时的二向受力状态逐渐转变为三向受力状态, 从而提高围岩强度, 达到支护目的。可进行如下力学分析:

视开挖后隧道为厚壁筒模型,设模型半径为  $a$ ,外压力为  $P_0$ (原岩应力),则未加支护时,距隧道中心  $r$  处任一点的径向应力  $\sigma_r$  和切向应力  $\sigma_\theta$  分别为:

$$\sigma_r = P_0(1 - a^2/r^2)$$
$$\sigma_\theta = P_0(1 + a^2/r^2)$$

进行封闭支护后,围岩表面有支护压力  $P_i$  作用,此时距隧道中心  $r$  处任意点的应力分别为:

$$\sigma_r = P_0(1 - a^2/r^2) + P_i a^2/r^2$$
$$\sigma_\theta = P_0(1 + a^2/r^2) - P_i a^2/r^2$$

当  $r = a$  时,即在围岩表面所受应力分别为:

$$\sigma_r = P_i$$
$$\sigma_\theta = 2P_0 - P_i$$

因此,支护结构使围岩受力状态得到了明显的改善,达到预期加固效果,如图 15-2-20 所示。

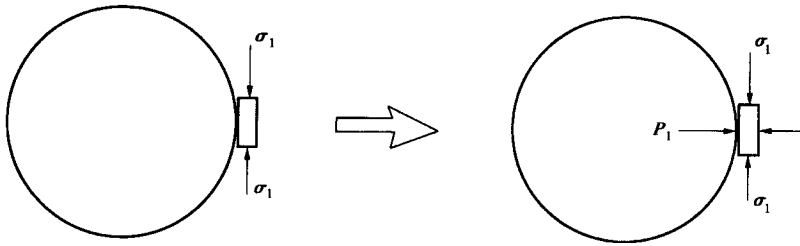


图 15-2-20 支护作用围岩受力转变示意图

2. 粘性土的物理力学特征

粘土的颗粒很细,粒径  $d < 0.005\text{mm}$ ,因此土粒周围容易形成电场,电分子力吸引水分子定向排列,形成粘结水膜,两者相互作用显著,关系密切;当含水量增加时,水分子在土粒表面形成润滑剂,降低粘性土的内摩擦角  $\phi$ ,随着水膜的变厚,逐渐形成自由水,则土粒间电分子力大大减弱,降低粘聚力;同时开挖扰动也会降低粘性土的粘聚力  $c$ 。因此,可以说含水量直接影响着粘性土的力学性质。

同时粘性土作为一种弹塑性材料,在长期受荷作用下,变形易随时间而缓慢持续发生蠕变。对于粘土质围岩,开挖后若支护不及时,很容易在围岩自重作用下发生蠕变现象,造成过大的变形,使围岩严重扰动;因此,粘土质围岩隧道的初期支护宜在适宜的时间选择合适的方法。

### 3. 锚杆支护在该段粘土质围岩中的异议

锚杆支护主要依靠杆体的抗拉强度,以及锚固端与稳定岩体的粘结力,将破碎不稳定岩块锚固在较完整的稳定岩体上,使其连接为整体,形成组合拱,共同承担围岩压力。另外还能在局部形成拱结构,间接减小整体开挖跨度。因此,在裂隙发育的岩质围岩中有很好的应用价值,加上预应力后还可起到一定挤压作用,使破碎岩块构成一个较均匀的压缩带,形成承载环。

然而在隧址区,受小气候影响雨水充沛,隧道顶植物根系发达,地表水很容易渗入粉土层增加水压力,尤其在开挖过程中由于开挖扰动,粘土围岩在收敛过程中必将影响原固结状态;虽然粘性土属微弱透水层,但隧道顶拱的粘土层平均只在3m左右,原固结状态受到扰动后,通过粉质土下渗的地表水很容易入侵粘土,增加含水量,改变其原有物理力学状态。

根据施工监测,综合分析洞身收敛值和拱顶地表下沉量,可推断浅埋隧道拱顶土体在变形过程中,必将存在一个中性面,中性面以上土体受到微挤压,而中性面以下土体将受到微拉伸,可称之为“拉压效应”,如图15-2-21所示。“拉压效应”越显著,则围岩扰动越剧烈,拉伸区的裂隙越明显。

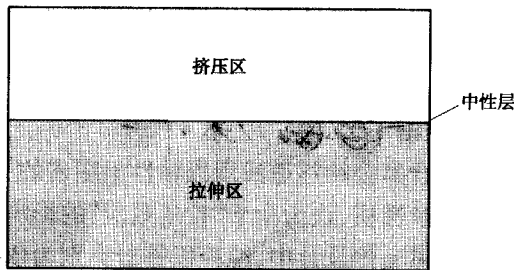


图 15-2-21 隧顶土体受力示意图

如果把三层土体看作三种材料平行叠加的组合梁,考虑各自刚度及厚度,大部分粘土层将在中性面以下,受到“拉压效应”影响;在张力作用下,形成十分细微的微裂隙,而且越靠近隧道拱顶,裂隙宽度大,很容易造成水流通径,增加含水量,从而提高粘土体塑性,降低其抗剪能力,严重影响围岩的自稳能力和锚杆与土体的锚固粘结力。

综上所述,锚杆加固在此类围岩中并未充分发挥自身强度,是一种不经济的支护方法,并且支护结构整体支护能力有可能低于围岩压力,增加二次衬砌的受力,易埋下质量隐患。因此,宜采用钢拱架并辅以钢筋网片的联合支护体系进行强预支护,可以不考虑锚杆的柔性支护,但应通过围岩量测保证强预支护的及时性,防止软弱围岩的蠕变造成

围岩的严重变形,增加支护体承受力。

进行强预支护时,要计算上部土体自重,在保证一定安全系数前提下,验证钢拱架、钢筋网片和喷射混凝土联合支护体系的强度。土体自重宜按下式计算:

$$q = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i$$

式中  $q$ ——均布垂直压力;

$\gamma_i$ ——拱顶第  $i$  层土体容重;

$h_i$ ——拱顶第  $i$  层土体高度。

另外还应加强钢拱架两端底座的处理,防止底座刺入,以保证联合体最大限度地发挥其支护能力。同时在断面全部开挖后,应做仰拱,及时进行围岩封闭。

#### 4. 浅埋隧道超前预加固新方法的探讨

隧道预加固方法中,最常用的就是通过导管进行注浆,由浆体材料胶凝破碎围岩,形成整体增强了自稳能力后再进行开挖,可以保证工程的顺利进行和施工安全。对于浅埋段地层,也常采用地面砂浆锚杆进行预加固。但是对于类似本工程的情况,同上述原因,锚杆起不到很大的作用。采用注浆时,由于高含水量粘性土的孔隙率较低,密实度较高,因此浆体在高压作用下的“劈裂效果”不明显,浆体不能均匀分布在导管周围,影响范围很有限。

借鉴水泥土搅拌桩,可以考虑在此类浅埋隧道段预先施工水泥土搅拌桩,等达到强度后再进行隧道开挖。这样可以加固隧道拱顶的整体围岩,改变中性层的位置,减小 4.3 中“拉压效应”影响出现的微裂隙宽度,同时明显降低地表下沉量。

这种方法虽然严重扰动了隧道围岩的天然状态,但是等桩体达到设计强度后,大大改善了原有围岩的物理力学性质,使其过渡到一个新的状态(可称“二次围岩”)。只要在开挖中尽量减少对“二次围岩”的扰动次数、扰动强度、扰动持续时间和扰动范围,并不与新奥法“少扰动、早喷锚、勤量测、禁封闭”中的基本原则相违背(对于松散类浅埋隧道,可通过地表高压注浆进行加固,待浆体与原围岩松散颗粒胶结达到一定强度,过渡到“二次围岩”后再行开挖施工)。

但是,这种方法只是通过简单的理论比较分析得出的,还需经过实体工程的试验验证,从工作效率和工程经济角度,进行综合分析比较才能最终确定浅埋段地层的合理加固方法。希望隧道工作者在以后类似工程中进行试验工程,通过方案比较,确定加固方法并推广普及。

#### (四) 方案评估

结合薛公岭隧道浅埋段粘性土围岩的支护方案,经过综合分析锚杆加固机理和粘性

土的物理力学性质,认为由于“拉压效应”的影响,原施工方案有一定的弊端。同时,也证明在现行隧道支护设计中,纯粹以围岩类别为依据进行工程类比存在着局限性,但是此法又是目前隧道建设中不可或缺的支护设计方法,因此建议采用工程类比法时,除考虑围岩类别外,尚应认真分析围岩的物理力学性质,要综合分析才能最终确定施工支护方案。另外,对于软弱或破碎浅埋隧道,宜先对拱顶围岩进行地表预加固,建立较为完整的“二次围岩”,改善原有围岩的力学状态,从而保证工程的顺利进行,同时简化初期支护方案。



## 第三章 盖挖法

### 第一节 盖挖法的施工方法

盖挖法是先盖后挖,即先以临时路面或结构顶板维持地面畅通再向下施工。早期的盖挖法是在支护基坑的钢桩上架设钢梁、铺设临时路面维持地面交通。开挖到基坑底后,浇筑底板至浇筑顶板的盖挖顺作法。后来使用盖挖逆作法。用刚度更大的围护结构取代了钢桩,用结构顶板作为路面系统和支撑,结构施作顺序是自上而下挖土后浇筑侧墙楼板至底板完成。也有采用盖挖半逆作法,施工程序如下:围护结构—顶板—挖土到基坑底—底板及其侧墙—中板及其侧墙。

盖挖法施工的优点是:结构的水平位移小;结构板作为基坑开挖的支撑,节省了临时支撑,缩短占道时间,减少对地面干扰,受外界气候影响小。其缺点是:出土不方便;板墙柱施工接头多,需进行防水处理;工效低,速度慢;结构框架形成之前,中间立柱能够支承的上部荷载有限。

盖挖法施工主要有以下几种类型:盖挖顺作法、盖挖逆作法(图 15-3-1)、盖挖半逆作法、盖挖顺作法与盖挖逆作法的组合(图 15-3-2)、盖挖法与暗挖法的组合(图 15-3-3)、盖挖法与盾构法(图 15-3-4)的组合。

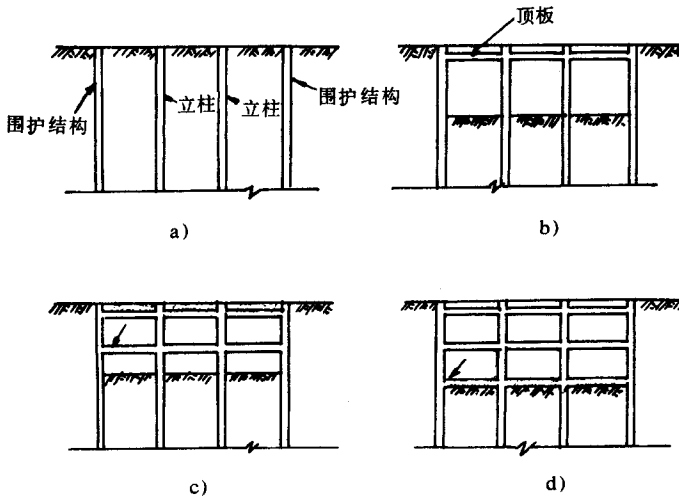


图 15-3-1 盖挖逆作法施工程序图

- a) 施工围护结构、中间支承柱 b) 浇筑顶板、向下挖土；  
c) 浇筑负 1 层板、边墙柱，后挖土 d) 浇筑底板、边墙、柱

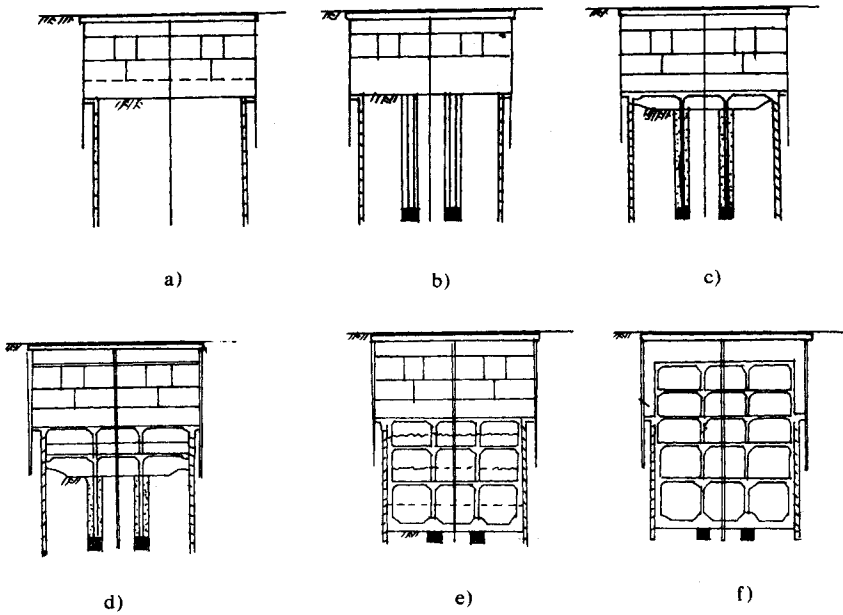


图 15-3-2 盖挖顺作法与盖挖逆作法组合施工程序图

- a) 施工上半部围护结构、中间柱、挖土并架设支撑、下半部围护结构 b) 主体结构中间桩施工；  
c) 浇筑第 2 层楼板并开挖土方 d) 架设支撑，浇筑第 3 层楼板及其侧墙并开挖土方；  
e) 依次浇筑第 4 层楼板及相应侧墙 f) 用顺作法浇筑第 1、2 层结构，拆除临时设施恢复路面

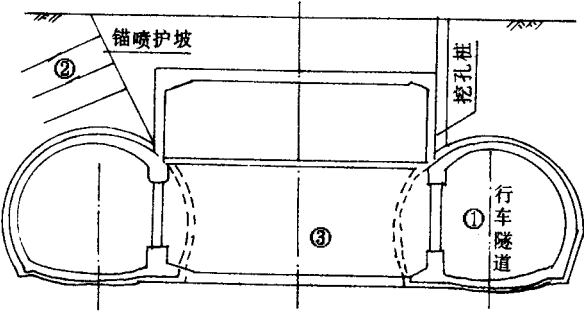


图 15-3-3 盖挖法与暗挖法组合施工程序图

①用暗挖法修建两个行车隧道及梁柱 ②锚喷护坡、挖孔桩 ③用盖挖法完成其余部分

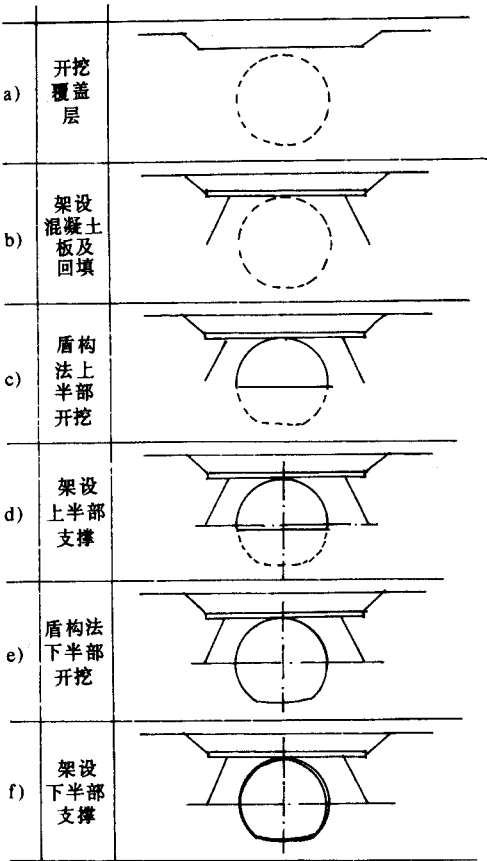


图 15-3-4 盖挖法与盾构法组合施工程序图

a)开挖覆盖层 b)架设混凝土盖板 c)盾构法上半部开挖；  
d)架设上半部支撑 e)盾构法下半部开挖 f)架设下半部支撑

## 第二节 盖挖法施工措施

### 一、施工期间地面的处置

有以下基本方式 :1. 部分或全部占用地面 ;2. 分条施工临时路面和结构顶板 ,维持部分交通 ;3. 夜间施工、白天恢复交通。

### 二、围护结构

盖挖法施工的地下工程围护结构型式基本可分为两大类 :1)由桩(钻孔桩、挖孔桩或预制桩)和内衬墙组成的柱墙结构 ;2)地下连续墙或地下连续墙与内衬墙组合结构。在软弱土层中 ,多采用刚度和防水性较好的地下连续墙。

围护结构与内衬墙之间的构造视传力方式不同可分为两种 :

#### (一)分离式结构

当围护结构与内衬墙之间需设防水层时 ,为保证防水效果在围护结构与内衬墙和板之间一般不用钢筋拉结。施工中为保证板的强度和刚度 ,有时需在上下板之间设置拉杆或临时立柱。软弱土层中 ,分离式内衬墙往往较厚 ,但由于防水性能好 ,采用较多。

#### (二)复合式结构

在围护结构与内衬墙设置拉结钢筋 ,使二者结合为整体 ,共同受力。但防水效果较差。

从减少墙体水平位移和对附近建筑物影响来看 ,盖挖逆作法效果最好。在软弱土层开挖时 ,侧压力较大 ,除以板作为墙体的支撑外 ,还需设置一定数量的临时支撑 ,并施加预应力。

### 三、中间临时柱

中间临时柱在结构框构形成前是承受竖向荷载的主要受力构件 ,能减少板的应力。盖挖顺作法大多采用在永久柱两侧单独设置临时柱。而盖挖逆作法多使临时柱与永久柱合二为一。临时柱通常采用钢管柱或 H 形钢柱。柱下基础可采用桩基和条基。桩基多采用灌注桩。条基用于地质条件较好的地段 ,可通过暗挖小隧道来完成。

四、土方挖运

土方挖运是控制逆作法施工进度的关键工序,开挖方案还直接影响板的模板型式及侧墙水平位移的大小。根据基坑的空间和地质条件,可选择是人工挖运或是小型挖掘机挖运。

盖挖法施工的土方,由明、暗挖两部分组成。条件许可时,从改善施工条件和缩短工期考虑应尽可能增加明挖土方量。一般是以顶板底面作为明、暗挖土方的分界线。这样可利用土模浇筑顶板。而在软弱土层,难以利用土模时,明挖土方可延续到顶板下,按要求架设支撑,立模浇筑顶板。

暗挖土方时应充分利用土台护脚支撑效应,采用中心挖槽法,即先挖出支撑设计位置土体,架设支撑,再挖两侧土体。

暗挖时,材料机具运送、挖运的土方均通过临时出口。临时出口可单独设置或利用隧道的出入口和风道。

五、混凝土施工缝处理

逆作法施工时,结构的内衬墙及立柱是由上而下分段施作,施工缝一般多在立柱设V型接头、在内衬墙上设L型接头进行处理(图15-3-5)。

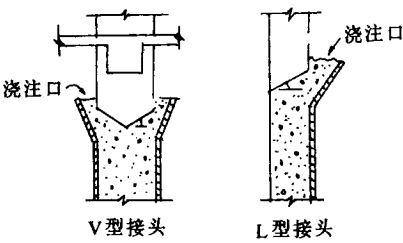


图 15-3-5 施工缝的接头型式

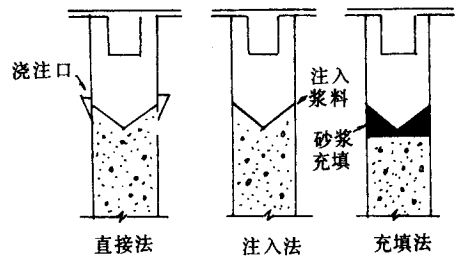


图 15-3-6 施工缝处理方法

施工缝根据结构对强度及防水的要求,有三种处理的方法可供选择:1. 直接法。在先浇混凝土的下面继续浇筑,浇注口高出施工缝,利用混凝土的自重使其密实,对接缝处实行二次振捣,尽可能排除混凝土中的气体,增加其密实性。2. 充填法。在先浇和后浇混凝土之间留一个充填接头带,清除浮浆后再用膨胀的混凝土或砂浆充填。3. 注入法。在先浇和后浇混凝土之间的缝隙压入水泥浆或环氧树脂使其密实(图15-3-6)。

## 第四章 浅埋暗挖法

### 第一节 暗挖法施工隧道的深度分界

修建浅埋地段隧道有时因周围环境等要求须采用暗挖法施工,称为浅埋暗挖法。

浅埋暗挖法是参考新奥法的基本原理,开挖中采用多种辅助施工措施加固围岩,充分调动围岩的自承能力,开挖后即时支护,封闭成环,使其与围岩共同作用形成联合支护体系,有效地抑制围岩过大变形的一种综合施工技术。

采用浅埋暗挖法应与明挖法、盖挖法、盾构法等施工方法,进行经济、技术及环境因素等方面的分析比较。

隧道根据覆盖厚度不同而分为深埋隧道与浅埋隧道。浅埋隧道因埋置深度较浅,覆盖厚度薄,一般情况下暗挖法开挖的影响将波及地表。根据坑道开挖引起的应力重分布是否波及地表的原则,在矿山法施工条件下,确定深、浅埋隧道覆盖厚度分界值  $h_p$  的经验公式为:

$$h_p = (2.0 \sim 2.5) h_a$$

式中  $h_a$ ——深埋隧道垂直荷载计算高度(m),  $h_a = (0.225 + 0.045B)2^{6-S}$  (公式适用于  $B \geq 5\text{m}$ );

其中  $S$ ——围岩类别,如Ⅲ类围岩即  $S = 3$ ;

$B$ ——坑道宽度(m)。

当隧道覆盖厚度  $h$  小于  $h_p$  时为浅埋隧道。

计算  $h_p$  时 ,Ⅰ ~ Ⅲ类围岩取高值 ;当不利于山体稳定的地质构造时 ,应适当加大  $h_p$  值 ;采用非爆破法开挖及采用喷锚支护时 , $h_p$  可适当减小 ,隧道开挖宽度大时采用高值。

对于软弱围岩地段 ,为了较准确地判别隧道埋深的性质 ,可以通过试验段进行荷载实测 ,应用实测压力(  $P$  )与垂直土柱重(  $\gamma_h$  )之比来确定隧道处于何种埋深。其判别标准可参考如下经验值 :

当	$p/\gamma h \leq 0.4$	为深埋隧道
	$p/\gamma h > 0.4$	为浅埋隧道

有时还进一步将  $p/\gamma h > 0.6$  者 称为超浅埋隧道。超浅埋隧道在初期支护作用下 ,其围岩塑性区 ,在一般情况下将达到地表 ,覆盖层发生整体位移下沉。

第二节 浅埋暗挖法施工技术特点

一、围岩变形波及地表

浅埋隧道施工中开挖的影响将波及地表。为了避免对地面建筑物及地层内埋设的线路管网等的破坏 ,保护地面自然景观 ,克服对地上交通的影响 ,更好的适应周围环境的要求 ,必须严格控制地中及地表的沉陷变形。

在变形量方面 ,不仅由于开挖直接引起围岩的沉降变形 ,还应计入由于围岩的作用引起支护体系的柔性变形及施工各阶段中基础下沉变位而引起的结构整体位移。

与变形量相对应而存在的地层塑性区的发展 ,除了对周围环境的影响外 ,还削弱了围岩的稳定能力 ,使施工更加困难。

二、要求刚性支护或地层改良

与深埋隧道可以给支护以适量变形不同。浅埋暗挖法施工时 ,其支护时间要尽可能提前 ,支护的刚度也应适当加大 ,以便抑制地中及地表的变形沉陷。除必须选用适当的开挖方法 ,支护方式及施工工艺外 ,还经常采用对前方围岩条件进行改良及超前支护等作为控制地层沉降变形的基本措施。

### 三、通过试验段来指导设计及施工

由于周围环境及隧道所处地段地质的复杂性,往往需要选取地质条件和结构情况有代表性的一段工程作为试验段。在做出包括结构设计、施工方案、试验及量测计划的设计后,先期开工。对施工过程中引起地中及地表沉陷变形情况、支护结构及围岩应力状态、对地面环境的影响程度等情况进行观察、量测、分析和研究。试验段施工中所取得的数据,还可以用反分析方法获得更符合实际的围岩力学参数,并在此基础上进行力学分析计算。

通过对试验段施工的研究分析,除进行优化设计及施工方案外,还对量测数据管理标准进行验证。

## 第三节 开挖方法及支护方式

### 一、开挖方法的选择

浅埋暗挖法施工隧道工程时,应根据工程特点、围岩情况、环境要求以及施工单位的自身条件等,选择适宜的开挖方法及掘进方式。必要时,应通过试验段进行验证。

施工中常用的开挖方法是台阶法以及适用于特殊条件的各类型分部开挖方法。

一般山岭隧道可采用正台阶法施工(图 15-4-1)。城市及附近地区的一般隧道可采用上台阶分部开挖法或短台阶法施工(图 15-4-2)。大断面的城市或山岭隧道可采用中隔墙台阶法、单侧壁导坑法或双侧壁导坑法施工(图 15-4-3)。城市地铁车站、地下停车场等多跨隧道多采用柱洞法、侧洞法或中洞法施工(图 15-4-4)。

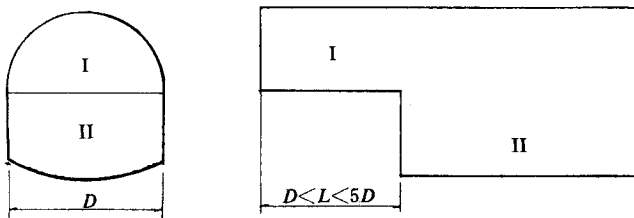


图 15-4-1 正台阶法



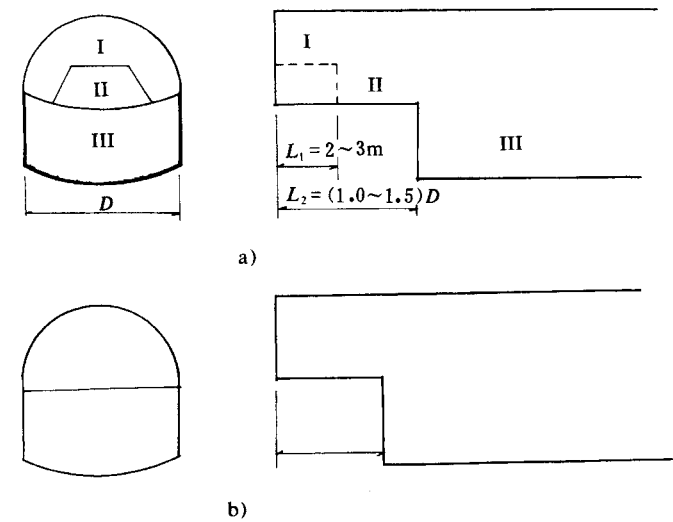


图 15-4-2 a)上台阶分部开挖法 b)短台阶法

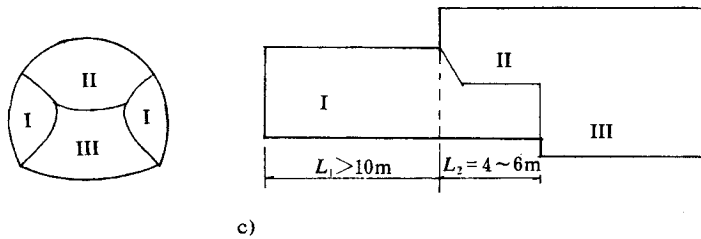
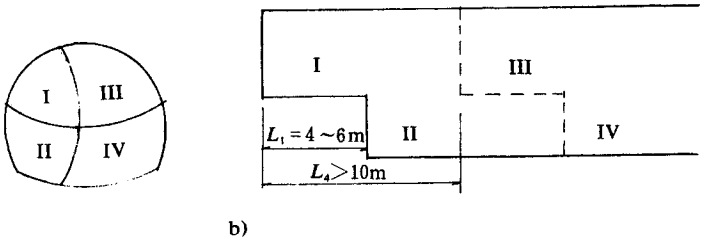
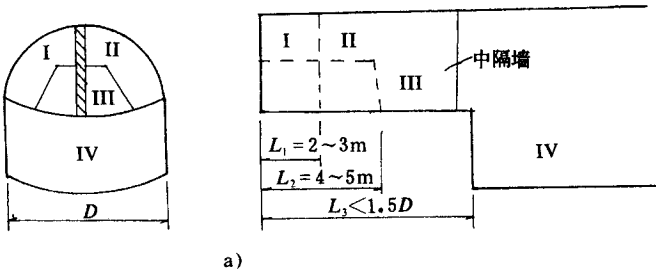


图 15-4-3 a)中隔墙台阶法 b)单侧壁导坑法 c)双侧壁导坑法

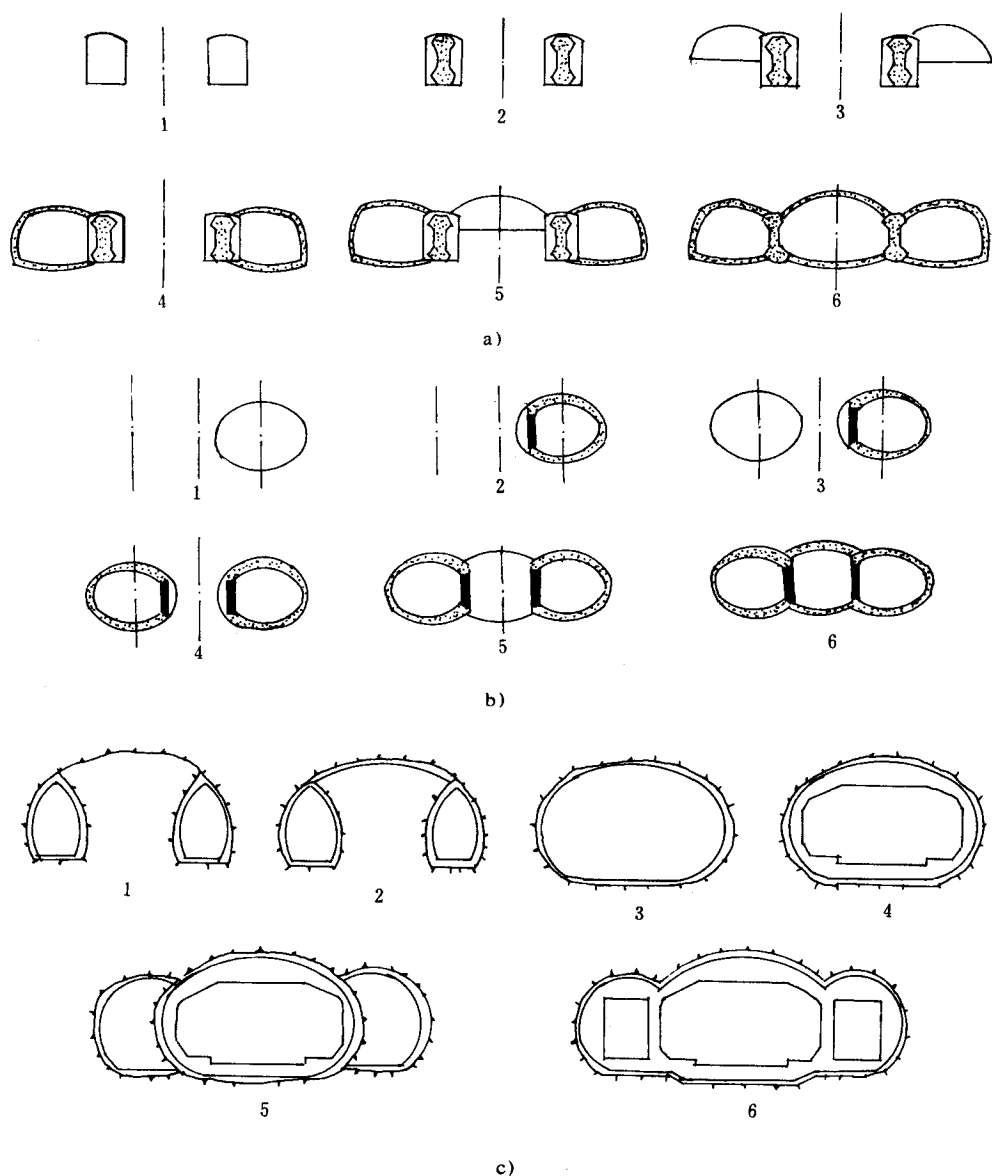


图 15-4-4 a) 柱洞法施工顺序 b) 侧洞法施工顺序 c) 中洞法施工顺序

浅埋隧道断面较大时不宜采用全断面开挖。

施工中应尽量减少对围岩的扰动, 优先采用掘进机或人工开挖。采用爆破开挖时, 应采用短进尺、弱爆破, 必要时要对爆破振动进行监控。爆破进尺一般不宜超过 1.0m。

## 二、支护方式

浅埋暗挖法施工的隧道多采用复合式衬砌。支护设计时可分为三种情况: 初期支护

承受全部荷载,二次支护(内层衬砌)仅作为安全储备;初期支护与二次支护共同承担荷载,初期支护仅作为施工期间的临时支护,二次支护作为主要承载结构。设计时应将结构设计、施工方法及支护方式、辅助施工方法等进行综合研究,并经试验段进行验证。在施工过程中根据量测数据不断进行改善。

一般地质条件下,初期支护类型由喷、锚、网、钢架或格构架四种方式而组成不同的结构型式。对于浅埋软弱地层,锚杆的作用明显降低,其顶部锚杆由于作用不大而常被取消,应采用刚度较大的初期支护。可采用喷射钢纤维混凝土代替网喷混凝土以加快支护速度及提高支护质量。

大断面软弱地层施工中采用分部开挖,其初期支护常与临时支护(临时仰拱、中隔墙)结合,使每块分部开挖后都及时得以封闭。为了强化初期支护,有时在做内层衬砌前才进行拆除。

对于地下水丰富的浅埋隧道,应采用洞内井点降水和周边围岩注浆等措施来改善施工条件。在地表允许的情况下,也可结合深井降水和地面预注浆堵水等措施进行水的综合治理,以减少水的危害,确保施工的安全和围岩的稳定。

### 三、辅助施工方法

一般情况下可按下列次序依次选用;

1. 上半断面留核心土环形开挖;
2. 喷射混凝土封闭开挖工作面;
3. 超前锚杆或超前小导管支护;
4. 超前小导管周边注浆;
5. 设置临时仰拱;
6. 深孔注浆加固及堵水;
7. 长管棚超前支护或注浆。

## 第四节 控制沉陷变形及防坍

### 一、现场监控量测

在浅埋暗挖法施工中将现场监控量测作为一道工序来进行。应使施工现场每时每

刻均处于监控之中 ,以确保工程安全及控制沉陷变形。量测项目包括 A( 必测 )和 B( 选测 )两类。

现场量测数据应及时绘制成位移—时间曲线( 或散点图 )。曲线的时间横坐标下注明施工工序和开挖工作面距量测断面的距离。当曲线趋于平缓时 ,应进行数据处理或回归分析 ,以推算基本稳定时间、最终位移值 ,掌握位移变化规律。根据量测管理基准及隧道施工各阶段沉陷变形控制标准进行施工管理。

当量测值超过标准时 ,应研究超标原因。必要时对已作支护体系进行补强及改进施工工艺。当曲线出现反弯点 ,即位移数据出现反常的急剧增长现象时 ,表明围岩与支护已呈不稳定状态 ,应加强监测和立即对支护体系补强 ,必要时应立即停止向前开挖及采取稳定工作面的措施以确保施工安全。经妥善处理 after ,才能继续向前施工。

二、量测管理基准及施工各阶段沉陷变形控制标准的建立

施工中主要采用位移量测数据作为信息化管理目标。管理基准值应根据现场的特 定条件来制定。控制变形总量可参考表 15 - 4 - 1。

表 15 - 4 - 1 量测数据管理基准参考值

指 标 内 容	日本、法国、德国规范综合值	推 荐 基 准 值	
		城 市 地 铁	山 岭 隧 道
地面最大沉陷	50mm	30mm	60mm
地面沉陷槽拐点曲率	1/300	1/500	1/300
地层损失系数	5%	5%	5%
洞内边墙水平收敛	20mm ~ 40mm	20mm	( 0.1 ~ 0.2 )D%
洞内拱顶下沉	75mm ~ 229mm	50mm	( 0.3 ~ 0.4 )D%

注 :D——开挖洞室最大跨度( m )

当地面建筑对地层沉陷敏感时 ,采用控制沉陷的多种措施( 包括改善围岩条件等 )不 易达到要求或极不经济时 ,可以同时采取结构加固的措施 ,并建立相应的基准值。

隧道施工量测数据管理基准值应细化为各施工阶段控制标准。控制标准数值一般 应分为三个控制水平。Ⅰ级为安全值( 相应安全系数为 1.5 ~ 2.0 以上 ) ,Ⅱ级为警戒值 ( 安全系数为 1.2 ~ 1.5 ) ,Ⅲ级为危险值( 安全系数 1.1 左右 )。施工中量测数值处于Ⅲ级 时 ,一般应立即停止向前掘进 ,补强已有支护体系使已施工地段迅速稳定 ,并研究改进向 前施工的方案。

## 第五章 洞口及明洞施工

### 第一节 洞口施工

隧道洞口地段,一般地质条件差,且地表水汇集,施工难度较大。施工时要结合洞外场地和相邻工程的情况,全面考虑、妥善安排及早施工,为隧道洞身施工创造条件。

由于每座隧道的地形、地质及线路位置不同,要很明确规定洞口段的范围是比较困难的。在一般情况下,可以将由于隧道开挖可能给上坡地表造成不良影响的洞口范围称为洞口加强段。每座隧道应根据各自的围岩条件来确定洞口段范围,一般亦可参照图 15-5-1 确定。

隧道洞口工程主要包括边、仰坡土石方,边、仰坡防护,端墙、翼墙等洞门圬工,洞口排水系统,洞口检查设备安装,洞口段洞身衬砌。洞口工程中的洞门施工,一般可在进洞后做,并应作好边仰坡防护,以减少洞门施工对洞身施工的干扰。

洞口段施工时应注意以下事项:

1. 在场地清理作施工准备时,应先清理洞口上方及侧方有可能滑塌的表土、灌木及山坡危石等。平整洞顶地表,排除积水,整理隧道周围流水沟渠。之后施做洞口边、仰坡顶处的天沟。

2. 洞口施工宜避开雨季和融雪期。在进行洞口土石方工程时,不得采用深眼大爆破或集中药包爆破,以免影响边、仰坡的稳定。应按设计要求进行边、仰坡放线自上而下逐

段开挖,不得掏底开挖或上下重叠开挖。

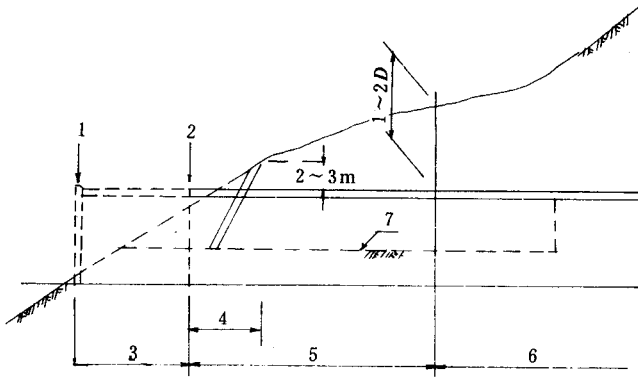


图 15-5-1 洞口段的一般范围

1—洞门位置 2—洞口位置 3—明洞段 4—进口过渡段 5—洞口段；  
6—隧道洞身段 7—上部开挖地基； $D$ —隧道开挖最大洞跨(m)

3. 洞口部分圬工基础必须置于稳固的地基上。须将虚渣杂物、泥化软层和积水清除干净。对于地基强度不够时,可结合具体条件采取扩大基础、桩基、压浆加固地基等措施。

4. 洞门拱墙应与洞内相邻的拱墙衬砌同时施工连接成整体,确保拱墙连接良好。洞门端墙的砌筑与回填应两侧同时进行,防止对衬砌产生偏压。

5. 洞口段洞身施工时,应根据地质条件、地表沉陷控制以及保障施工安全等因素选择开挖方法和支护方式。洞口段洞身衬砌应根据工程地质、水文地质及地形条件,至少设置不小于 5m 长的模筑混凝土加强段,以提高圬工的整体性。

6. 洞门完成后,洞门以上仰坡脚受破坏处,应及时处理。如仰坡地层松软破碎,宜用浆砌片石或铺种草皮防护。

洞口段施工中最关键的工序就是进洞开挖。隧道进洞前应对边仰坡进行妥善防护或加固,作好排水系统。洞口段施工方法的确定取决于诸多因素。如施工机具设备情况、工程地质、水文地质和地形条件,洞外相邻建筑的影响,隧道自身构造特点等。根据地层情况,可分为以下几种施工方法；

(1) 洞口段围岩为Ⅳ类以上,地层条件良好时,一般可采用全断面直接开挖进洞,初始 10m~20m 区段的开挖,爆破进尺应控制在 2m~3m。施工支护,于拱部可施做局部锚杆,墙、拱采用素喷混凝土支护。洞口 3m~5m 区段可以挂网喷混凝土及设钢拱架予以加强。

(2) 洞口段围岩为Ⅲ~Ⅳ类,地层条件较好时,宜采用正台阶法进洞(不短于20m区段)。爆破进尺控制在1.5m~2.5m。施工支护采用拱、墙系统锚杆和钢筋网喷射混凝土。必要时设钢拱架加强施工支护。

(3) 洞口段围岩为Ⅱ~Ⅲ类,地层条件较差时,宜采用上半断面长台阶法进洞施工。上半断面先进50m左右后,拉中槽落底,在保证岩体稳定的条件下,再进行边墙扩大及底部开挖。上部开挖进尺一般控制在1.5m以下,并严格控制爆破药量。施工支护采用超前锚杆与系统锚杆相结合,挂网喷射混凝土。拱部安设间距为0.5m~1.0m的钢拱架支护,及早施做混凝土衬砌,确保稳定和安全。

(4) 洞口段围岩为Ⅱ类以下,地层条件差时,可采用分部开挖法和其它特殊方法进洞施工。具体方法有:①预留核心土环形开挖法;②插板法或管棚法;③侧壁导坑法;④下导坑先进再上挑扩大,由里向外施工法;⑤预切槽法等。开挖进尺控制在1m以下,宜采用人工开挖,必要时才采用弱爆破。开挖前应对围岩进行预加固措施,如采用超前预注浆锚杆或采用管棚注浆法加固岩层后,用钢架紧贴洞口开挖面进行支护,再进行开挖作业。在洞身开挖中,支撑应紧跟开挖工序,随挖随支。施工支护采用网喷混凝土,系统锚杆支护,架立钢拱架间距为0.5m,必要时可在开挖底面施做临时仰拱。开挖完毕后及早施作混凝土内层衬砌。当衬砌采用先拱后墙法施工时,下部断面开挖应符合下列要求:(1)拱圈混凝土达到设计强度70%之后方可进行下部断面的开挖;(2)可采用扩大拱脚,打设拱脚锚杆,加强纵向联接等措施加固拱脚。(3)下部边墙部位开挖后,应及早、及时做好支护,确保上部混凝土拱的稳定。

施工前,在工艺设计中,应对施工的各工序进行必要的力学分析。施工过程中应建立建全量测体系,收集量测数据及时分析,用以指导施工。

## 第二节 明洞施工

明洞是用明挖法修建的隧道。其结构形式分为独立式明洞和接长式明洞。它的结构形式,常因地形、地质条件的不同而有许多种,采用最多的是拱式明洞和棚式明洞。明洞大多设置在坍方、落石、泥石流等地质不良地段。公路隧道有时需在洞口外设置遮光棚,亦属明洞类结构。

明洞施工方法的选择,应根据地形、地质条件、结构形式等因素确定。独立式明洞可

采用明挖法或盖挖法施工,接长式明洞可采用开挖与衬砌的施工顺序,分为全部明挖先墙后拱法、上部明挖先拱后墙法及部分明挖墙拱交错法三种:

### 一、全部明挖先墙后拱法

适用于埋置深度较浅,边仰坡开挖后能暂时稳定,或已成路堑中增建明洞地段。开挖程序如图 15-5-2 所示。

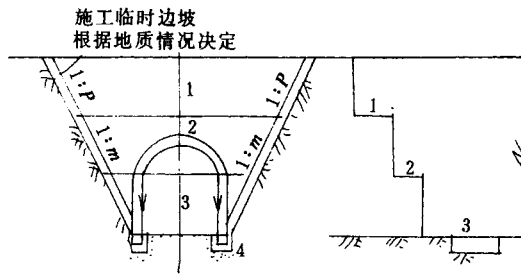


图 15-5-2 全部明挖先墙后拱法

施工步骤: 从上向下分台开挖,先作好两侧边墙,再作拱圈,最后作防水层及洞顶回填。

### 二、上部明挖先拱后墙法

适用于明洞位于岩层破碎,路堑边坡较高,全部明挖可能引起坍塌,但拱脚岩层承载力较好,能保证拱圈稳定的地段。开挖程序(图 15-5-3):起拱线以上部分,采用拉槽法开挖临时边坡、仰坡。当临时边坡、仰坡不够稳定时,采用喷锚网加固坡面。先做好拱圈,然后开挖下部断面,再作边墙,拱脚应设连续的纵钢筋混凝土托梁,并使混凝土与两侧岩石密贴。

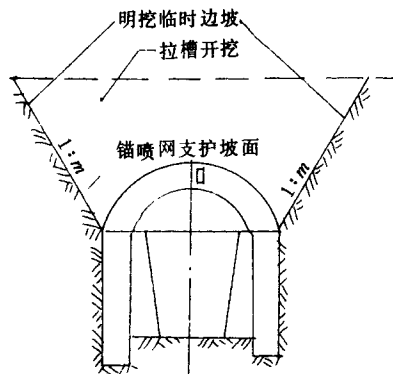


图 15-5-3 上部明挖先拱后墙法



三、墙拱交错法

适用于半路堑、原地面边坡陡峻,由于地形限制不能先做拱圈,或由于外侧地层松软,先做拱圈可能发生较大沉陷,先墙后拱亦有困难时。

(一)先做外侧边墙法

施工程序如图 15-5-4 所示。

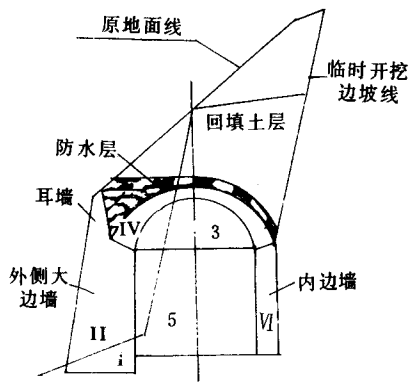


图 15-5-4 先做外侧边墙法

1. 先挖出外侧墙基坑 I,然后将外侧墙 II 砌筑(或模筑)至设计标高。
2. 开挖内侧起拱线以上部分 3,挖除后立即架设拱架灌注拱圈 IV,如有耳墙时,同时作好耳墙。
3. 在拱内落底 5,应随落随加支护,以保持内侧边坡的稳定。
4. 开挖内边墙马口,逐段施作内边墙 VI,然后进行拱顶回填,并做防水层。

(二)挖开灌筑边墙法

先拱后墙法施工的路堑式明洞,如开挖后发现地层松软,难于承受拱圈压力时,或先墙后拱法,路堑边坡明挖过深可能引起边坡坍塌等不安全情况时,均可采用挖开法或拉槽法灌筑边墙。施工步骤:一般开挖至起拱线后,先间隔挖开或横向与中线垂直间隔拉槽,灌注部分边墙,再作拱圈,拱脚处加纵向钢筋以形成钢筋混凝土托梁。最后挖马口作其余边墙。

明洞大多数修筑于地质较差,地形陡峻的地段,受力条件复杂。施工中特别应注意安全和结构的稳定,做到符合下列各项要求:

1. 开挖前要做好全部临时排水系统,适当选择施工方法,要按设计要求正确测定中线和标高,放好边桩和内、外墙的位置。

2. 认真处理基础。明洞边墙基础承载力必须保证达到设计要求 ;有地下水流时 ,要相应采取措施 ,如夯填厚度不小于 10cm 的碎石层或扩大基础以提高其承载力 ;若为岩石地基则应挖至表面风化层以下 0.25m 以下。

3. 明洞衬砌其拱圈要按断面要求 ,制作定型挡头板、内、外模及骨架 ,加强各部内、外模支撑 ,防止变形及位移。采用墙拱交错法施工时 ,要有保证拱脚稳定 ,防止拱圈沉落的措施。

明洞顶回填土石主要是起缓和边、仰坡上的落石、坍塌和支挡边坡稳定的作用。应按设计厚度和坡度进行施工。

回填土石应在做好防水层 ,衬砌达到设计强度的 70% 时 ,才能开始施工。路堑式明洞拱背回填应对称分层夯实 ,每层厚度不宜超过 0.3m ;其两侧回填土的土面高差不得大于 0.5m ;回填至拱顶后须满铺分层填筑 ;拱顶填土高达 0.7m 以上才能拆除拱架。采用推土机等大型机械回填时 ,应先用人工夯填一定的厚度后 ,方可能使用机械在顶部进行作业 ,并于机械回填全部完成后才能拆除拱架。

回填土石与边坡接触处 ,要挖成台阶 ,并用粗糙透水材料填塞 ,防止回填土石沿边坡滑动。

明洞与隧道衔接的施工方法 ,有先做明洞后进隧道和先进隧道后做明洞两种。在明洞长度不大和洞口地层松软 ,开挖仰坡和边坡时易引起坍方 ,或在已坍方的地段 ,一般是先作明洞后进隧道。在地层较为稳定或工期较紧的长隧道设有较长明洞 ,或是洞口路堑开挖后可能发生坍塌时 ,则可采用先进隧道后作明洞的施工方法。

不论是先隧后明 ,还是先明后隧 ,隧道部分的拱圈都应由内向外和明洞拱圈衔接。必须确保仰坡的稳定和内外拱圈联接良好。一般情况下明洞与隧道的衔接部位是结构防水的薄弱部位 ,施工时应把隧道的洞身衬砌向明洞方向延长一定长度 ,以达到整体防水效果。

### 第三节 成功实例分析

随着我国西部开发及加大基础建设的实施 ,公路隧道施工越来越多 ,其技术也不断提高 ,如何解决浅埋偏压隧道顺利进洞或顺利贯通 ,一直是我们所探讨的。原因在于该技术一直不成熟 ,工序繁锁或安全隐患较大等特点。陕西勉宁高速公路杨庄隧道下行线

出口为浅埋偏压段。我们采取动态施工,灵活应用“新奥法”以及各项措施,不仅使该隧道单口安全顺利贯通,且对环保做出了很大贡献,取得了良好社会 and 经济效益。

### 一、工程概况

杨庄隧道下行线全长 140m。K8 + 155 ~ + 135 间有 20m 浅埋偏压段,最小埋深 1.0m,平均埋深 3.05m。隧道最大开挖宽度 12m,覆跨比为 1:3.9。该段工程地质主要有泥岩、泥岩夹页岩,岩性为灰色泥层结构,薄层状构造,层理发育,层间结合力差,抗风化能力差,风化后呈碎片状,饱和极限抗压系数为 5.0 ~ 9.0MPa,抗剪强度多为 0.8 ~ 0.9MPa,软化系数为 0.2 ~ 0.6,岩石整体性差;隧道口面朝黄坝河,隧底离地面高度约 5.0m,且洞口坡陡、树木较多。考虑到该处机械无法施工,且为了不损害大批草木,决定由进口向出口单头掘进并贯通,施工难度较大。

### 二、施工方案选定

#### (一)明洞施工方案

该隧道 K8 + 140 ~ K8 + 135 段原设计为明洞,即该段明洞开挖后进行仰拱边墙施工,再进行全断面衬砌以及洞门和洞顶回填土。其优点是对地表地层不需预加固,无支护工程,施工速度快,成本较低。但该设计与实际地形严重不符,浅埋段右侧边坡高达 30m,且左侧底部悬空,即该处存在偏压,即使上导安全通过,下导施工时马口难开,危险性极高(右侧边坡易造成坍塌),经与甲方协商同意变更。

#### (二)明洞暗做方案

根据现场地形地质勘测,决定 K8 + 155 ~ + 140 段实施洞口加强段即采用超前小导管预注浆液浆加固上弧导,按照“短进尺、弱爆破、强支护”原则,分上、中、下三个阶段分部开挖;120a 工字钢拱架、系统锚杆、双层钢筋网、喷射混凝土联合支护;仰拱紧跟开挖,并配以围岩量测监控反馈指导施工。K8 + 140 ~ K8 + 135 段由于覆盖层最薄处仅 1.0m,故该处可当做半明半暗式隧道处理。隧道贯通里程选择在 K8 + 140 处,该段施工坚持先外侧后内侧,由下至上、由外到内小导洞贯通的顺序施工,并配以外侧设置反压浆砌挡墙,同时注意在隧道洞口段内侧施工前处理洞顶仰坡,并进行防护。洞口支护应以 120a 工字钢拱配合模筑混凝土施工为主。该方案投资较高,但施工较为成熟,对安全质量有保证,对边坡损害(扰动)较小,利于环保,社会效益巨大。该方案经审批通过。

### 三、施工过程及采取的措施

#### (一) 洞内加强段施工

洞内加强段的设置是洞口顺利贯通的前提和基础,完成上导小导管注浆加固后采用图 15-5-5 的顺序进行开挖,工艺流程如图 15-5-6。上弧导每循环进尺 1.0m,随挖随喷 5cm 厚的 C20 混凝土,速度较快,工序简单灵活,并可用目测法结合分析法确定围岩变形动态,便于采取相应措施。混凝土喷射完毕后立即进行上、中、下导各部位的工字钢架立,双层钢筋网(15×15cm)铺设,工字钢架间设置  $\phi 25$  联结筋环向间距 1.0m,系统锚杆采用  $\phi 22$  螺纹钢,端头设 10cm 长弯钩与钢拱焊接牢固。另外,上导超前小导管端头应与钢拱架腹部焊接牢固,以便使其形成一整体,抵抗围岩压力,喷射混凝土厚度应足以包裹钢拱架,使其不外露为宜,开挖(下导)完成后应随即跟进仰拱,为更好地保证初期支护形成闭合受力环,可在仰拱内增加工字钢拱架,同周边钢拱架相互联结。

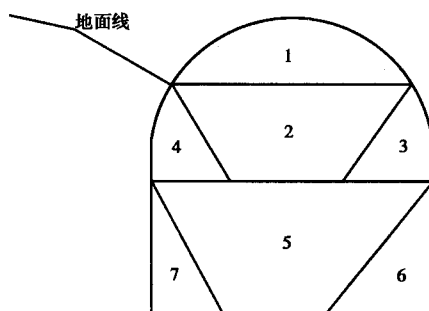


图 15-5-5 开挖顺序图

#### (二) 洞口贯通施工

洞内加强段施作完毕,仰拱跟至下导工作面后进行洞口段的施工,具体施工次序见图 15-5-7。

##### 1. 超前小导管加固左侧岩体

##### (1) 施工参数

钢管规格  $\phi 50 \times 3.5\text{mm}$ , 热轧钢管,管长 4.5m,外插角  $5^\circ$ ,环向间距 30cm,搭接长度 1.2m,水玻璃浓度 35 模数为 2.7,注浆压力 0.6~1.0MPa,机械型号 BY50/70 液压注浆机。

##### (2) 施工工艺

##### ① 制作小导管;

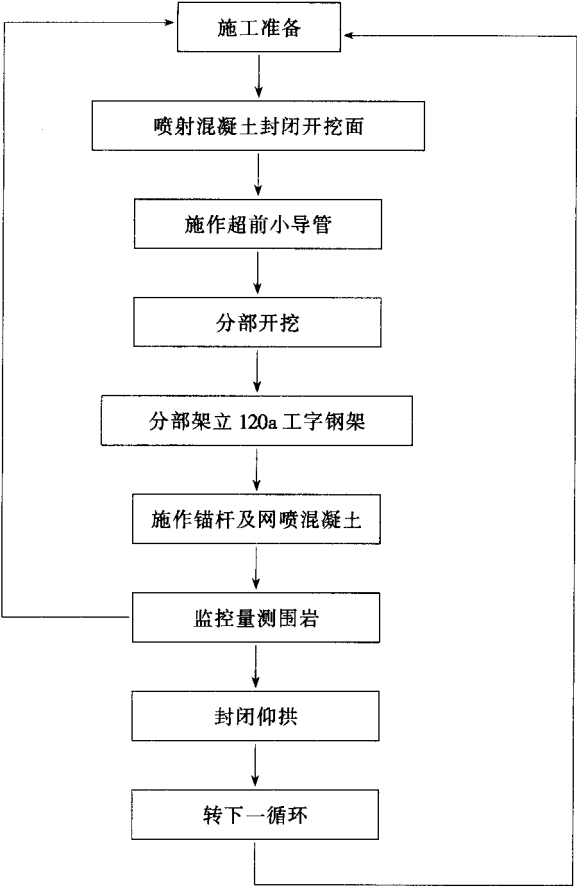


图 15-5-6 开挖工艺流程

- ②测量放线准确定位；
- ③YT—28 气腿式风枪钻孔 施作周壁小导管；
- ④注单液浆 每孔注浆完毕后立即堵塞孔口 堵塞度 0.2~0.5m 防止浆液外流。

(3)施工要点

- ①注浆由两侧向中间的顺序进行；
- ②施工过程中有串浆现象时可采用隔孔注浆；
- ③当发生堵塞或浆流不顺畅时可在邻孔加压补浆或补管注浆；
- ④注浆完毕后应进行钻孔检查 检查数量为不小于总数的 10%。

2. 开挖及洞口偏压处理

由于洞口段存在严重偏压现象 ,洞外无法提前预加固地表等限制 ,必须施作一引道为洞外施工创造条件。便道完成后可将风、水、电接至洞外 ,并可配以人工进行洞顶仰坡

处理。为了保证洞顶植被破坏到最低限度又能保证洞口的安全稳定 ,可采取以下措施：

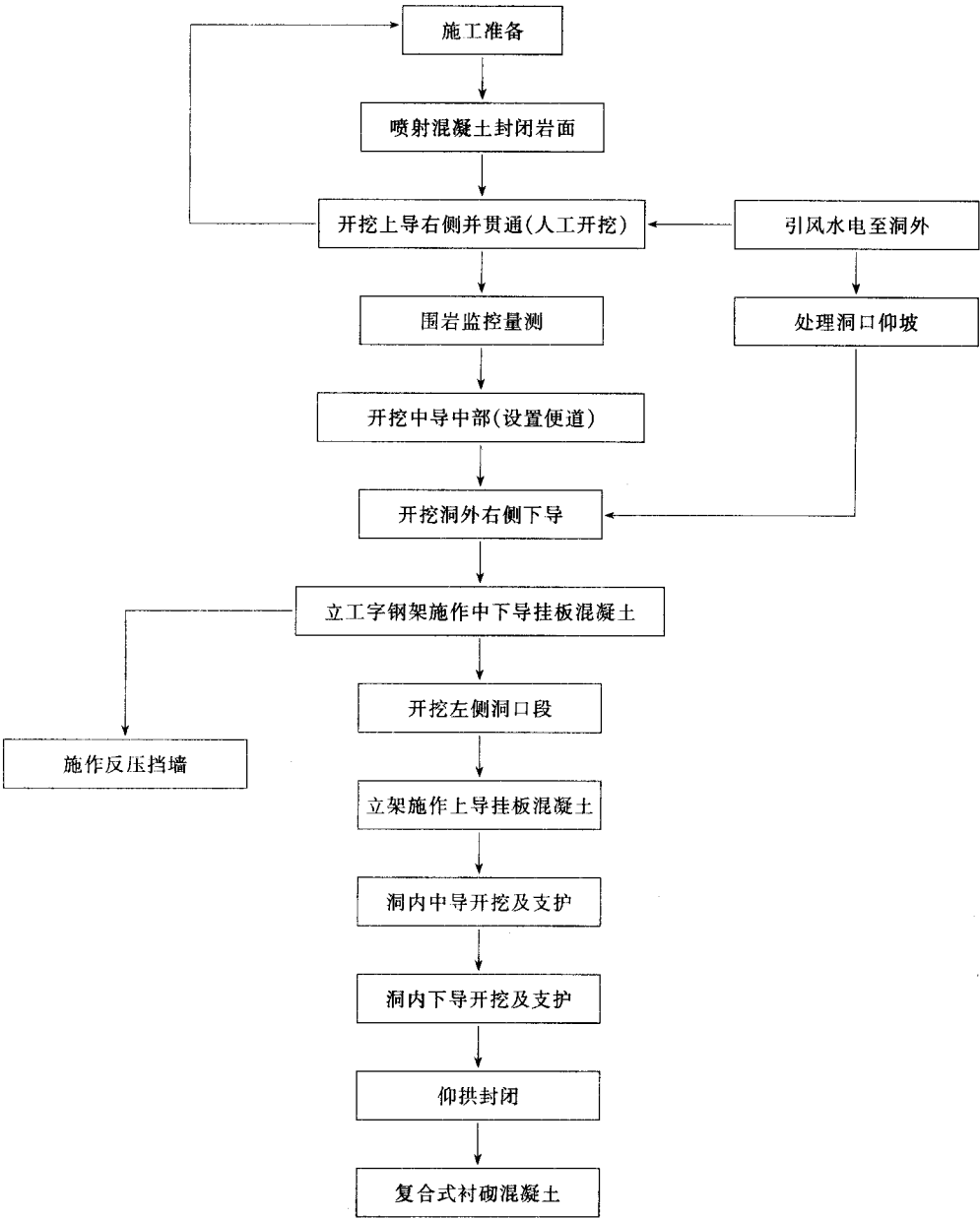


图 15-5-7 洞口段施工次序图

a. 根据现场实际地形情况及围岩稳定情况 ,确定最小仰坡刷坡范围 ,尽量减少对植被破坏。使用人工配合风镐施工 ,坡面采用喷锚网联合防护形式 ,参数如下 : $\phi 22$  锚杆长

4.0~4.5m 梅花布置 纵横向间距为 1.0~1.2m ,铺设  $\phi 6.5$  钢筋网  $15 \times 15\text{cm}$  网格 ,喷射 C20 混凝土 10cm。

b. 坡面防护施作完毕混凝土强度达 80% 以后 ,可立即开挖外侧下导并设立 120a 工字钢 ,施作挂板混凝土 ,混凝土厚(下部)1.0m ,上部可适当减薄。随后在边墙后背施作 7.5 号浆砌片石挡墙 ,目的是上导拱架设立完毕后形成环向受力 ,以抵抗偏压 ,防止拱架扭曲变形。施作至中导部位后 ,进行内侧上导开挖 ,并设立上导 120a 工字钢拱架施工 ;钢拱架纵向间距 50cm ,外侧设锚杆  $\phi 22$  , $L = 4.0 \sim 4.5\text{m}$  ,并在拱脚处进行加强 ,一般增加 4~6 根。整个上导拱架支护完毕后立即施作上导挂板混凝土施工(同常规混凝土施工) ,施工中应注意 拱架拱脚处锚杆质量 ,拱脚应落在硬基岩上或是在拱脚处设人工垫石 ,保证该处的密实度。

挂板混凝土达 80% 强度后 ,为保证该段下导施工的安全性 ,应在洞顶立即浇筑混凝土反压挡墙及反压回填土。

洞外施作完毕后 ,整个洞口趋于稳定 ,便可进行中下导的施工直至隧道全部贯通后施工模筑衬砌。

(三) 围岩量测

随时掌握围岩开挖过程中的动态和支护结构的稳定状态 ,对于顺利贯通隧道 ,安全施工有着至关重要的作用。该隧道设置了支护状态目测观察、周边收敛位移、拱顶下沉及洞口地表沉陷四项围岩量测项目。测点沿开挖轮廓布置 5 个测点(见图 15-5-8) ,其中拱顶处设置 1 点 ,拱顶下 2m 设置 2 点 ,拱顶下 5m 处设置 2 点 ,其中拱部测点为测量拱顶下沉之用 ,使用精密水平仪和水准尺进行 ;下面 2 组水平测点为测周边位移收敛之用 ,使用 SWJ-Ⅳ 型收敛仪 压力盒进行地表下沉量测。测点集中设在隧道中线地表处 ,与洞内测点位置对应。

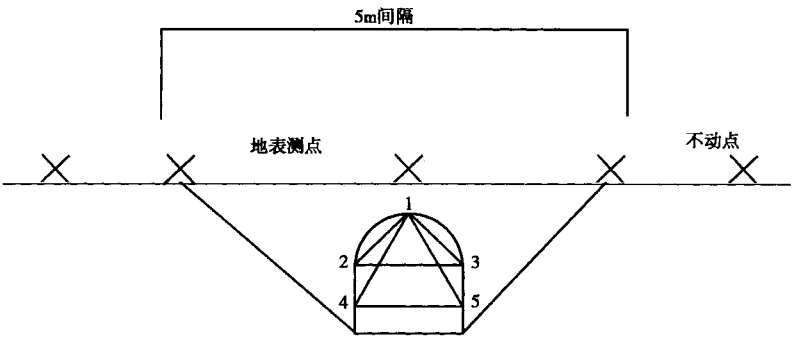


图 15-5-8 围岩量测测点轮廓布置图

#### (四) 环境保护

洞口仰坡刷护与环保一直有着较大矛盾。经过实地勘测及洞内围岩量测结果的反复分析表明,仰坡及边坡均可将原设计面积缩小  $1/2$ 。由此一来,坡面植被及初始围岩状态所受到的扰动均大大减小;另外,为保护黄坝河河水不受到污染,在洞口石方开挖过程中采用控制爆破,定向弃渣的办法,使黄坝河河道未受到任何破坏。

### 四、施工效果及体会

1. 采用洞内小导洞出洞,仰坡先行,小导管超前加固围岩及工字钢架与网喷锚联合支护,量测监控围岩状态及仰拱紧跟下导这一整套施工措施,该隧道原设计 2001 年 10 月底贯通,结果提前 15 天于 10 月 16 日贯通。贯通后隧道洞内洞外各部位支护结构未发现任何裂缝、扭曲等现象,洞内二次衬砌平顺光滑,无渗漏水,取得良好的经济效益。

2. 仰坡边坡的先行施工及仰坡坡面卸载大大提高了隧道贯通的安全性,反压挡墙及套拱混凝土施工是该隧道今后安全运营的有力保证,偏压力有效地分散至墙拱部的各个点,防止应力集中现象。

3. 该施工技术虽工序较为繁多,但各工序施工都较为成熟,只要合理安排,加强组织,紧密衔接各工序,可大大提高工程质量及劳动生产率,并保证施工过程的安全性,值得推广。

4. 浅埋偏压隧道的施工技术性较强,应给予高度的重视,进行方案比选,选择可靠技术,并提高施工管理及劳动力组织水平,切勿蛮干,否则一旦形成危险则难以挽救,损失巨大。

5. 环境保护作为今后建筑施工所必须考虑的一项工作,应切实引起重视。杨庄隧道下行线的施工,在该方面做出了努力,取得了成果。但如何保证既能快速安全施工又能对周边环境做到保护是有待研究的。